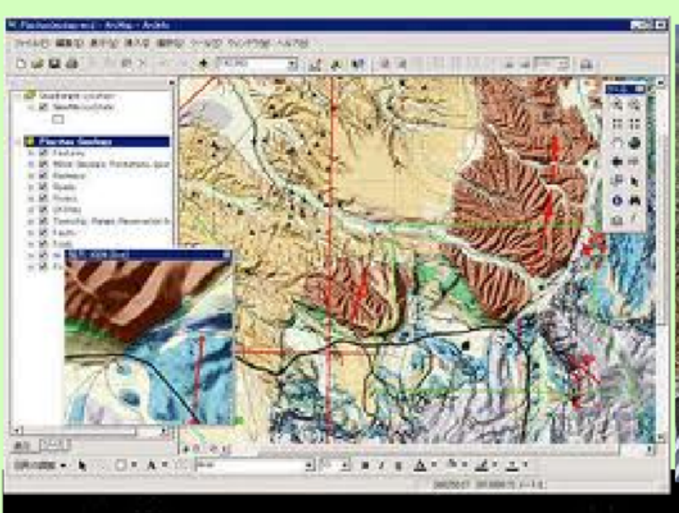
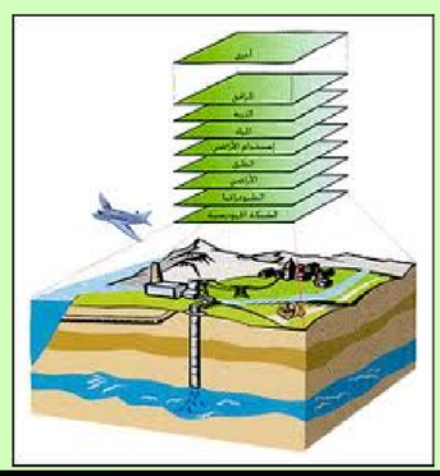




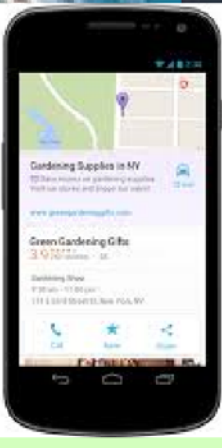




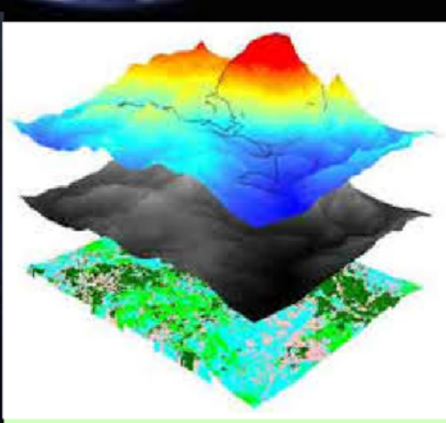
الجيوماتكس

علم المعلوماتية الأرضية









Maps

R S

د. جمعه محمد داود

٢٠١٤ / ١٤٣٥ هـ

GPS

GIS

الجيوماتكس: علم المعلوماتية الأرضية

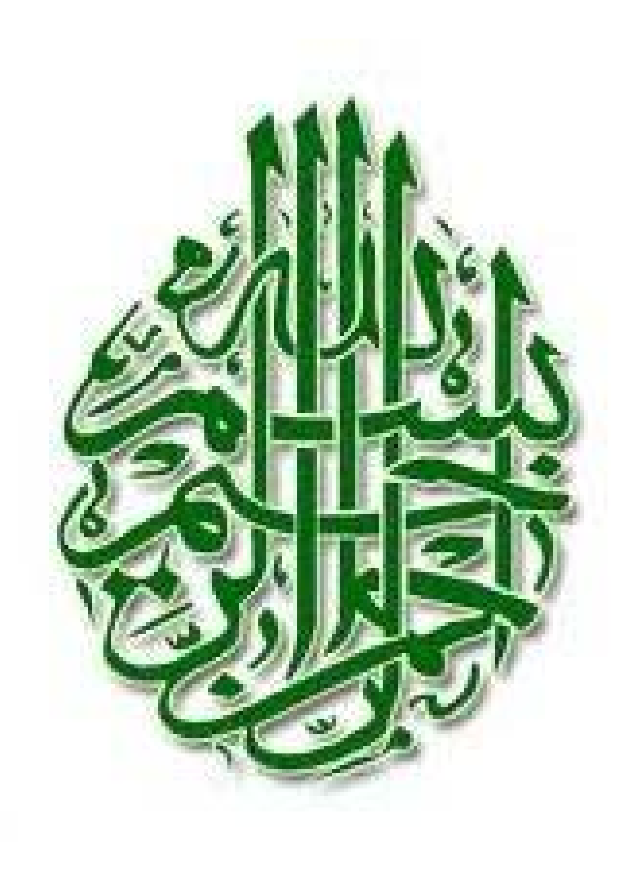
The Science of Geomatics

د. جمعة محمد داود

Gomaa M. Dawod

النسخة الأولي

١٤٣٥ هـ / ٢٠١٤م


بسم الله الرحمن الرحيم



اتفاقية الاستخدام

للإشارة الى هذا الكتاب - كمرجع – برجاء إتباع النموذج التالي:

باللغة العربية:

داود ، جمعة محمد ، ٢٠١٤ ، الجيوماتكس: علم المعلوماتية الأرضية ، مكة المكرمة ، المملكة العربية السعودية.

باللغة الانجليزية:

Dawod, Gomaa M., 2014, Science of Geomatics (in Arabic), Holy Makkah, Saudi Arabia.

مقدمة النسخة الأولى

بسم الله الرحمن الرحيم و الحمد لله العليم القدير الذي وهبني علما ووفقني في حياتي ، والصلاة والسلام علي معلم الأمم و خير البرية محمد بن عبد الله عليه الصلاة و السلام.
أدعو و أبتهل الى مولاي و خالقي عز و جل أن يتقبل مني هذا العمل لوجهه الكريم فما أردت إلا إرضاؤه تعالى وتحقيقا لقول رسوله الكريم أن عمل ابن ادم ينقطع بعد موته إلا من ثلاث أحدهم: علم ينتفع به.

أردت أن أقدم عملا باللغة العربية عن **المبادئ والمفاهيم الأساسية لعلم الجيوماتكس** بما يناسب طلاب المستوي الأول بالمرحلة الجامعية، فهذا ليس مرجعا شاملا، وإنما هو مدخل فقط. وأود أن أشير الي قيامي بترجمة بعض المصطلحات التقنية الي اللغة العربية، فان كنت قد أصبت في الترجمة فلي أجر و إن كنت قد أخطأت فلي أجران كما قال رسول الله صلي الله عليه وسلم، فأرجو ألا تستغربوا من بعض هذه المصطلحات العربية الجديدة.

والكتاب الحالي هو الثامن - بفضل الله تعالى و توفيقه - من سلسلة كتبي الرقمية المخصصة لوجه الله تعالى وابتغاء مرضاته، وهي الموجودة في العديد من مواقع شبكة الانترنت.

أدعو كل قارئ و كل مستفيد من هذا الكتاب أن يدعو الله تبارك و تعالى أن يغفر لي و لوالدي ، وأيضا ألا يحرمني من رأيه و تعليقاته وتصويباته - فلا يوجد كتاب إلا و به نواقص و أخطاء - سواء عبر البريد الالكتروني أو عبر منتدى الهندسة المساحية في:

http://surveying.ahlamontada.com/

بسم الله الرحمن الرحيم ..... **وقل ربي زدني علما** .... صدق الله العظيم.

جمعة محمد داود
dawod_gomaa@yahoo.com

مكة المكرمة: ١ محرم ١٤٣٥ هـ

إهداء

الي أعز و أغلي ما وهبني الله

الي زهرة حياتي ونبض قلبي

الي أجمل مخلوقة علي سطح الأرض

الى ابنتي ذات الأثنا عشر ربيعا

الى

سلمى



كتب أخري للمؤلف

١- المدخل الى الخرائط
٢- المدخل الى الخرائط الرقمية
٣- التحليل المكاني في إطار نظم المعلومات الجغرافية
٤- مبادئ المساحة
٥- المدخل الى النظام العالمي لتحديد المواقع
٦- أسس المساحة الجيوديسية و الجي بي أس
٧- مقدمة في الصور الجوية و المرئيات الفضائية

وكل هذه الكتب المجانية (بالإضافة لمواد تدريبية و ملفات تعليمية أخري) متاحة للتحميل كاملة في عدد كبير من مواقع شبكة الانترنت و منهم علي سبيل المثال:

- صفحتي علي موقع جامعة أم القري في الرابط:
http://www.uqu.edu.sa/staff/ar/4260086

- صفحتي علي موقع أكاديميا في الرابط:
http://nwrc-egypt.academia.edu/GomaaDawod

- المكتبة الرقمية المساحية المجانية في الرابط:
http://www.4shared.com/u/vJBH8xk_/__online.html

المحتويات

المحتويات

المحتويات

المحتويات

المحتويات

الفصل الأول

تعريف الجيوماتكس

١-١ مقدمة:

مـن مقـولات العـالم الإغريقـي الـشهير ايراتـوثنيس (٢٧٥-١٩٣ قبـل المـيلاد): "لآلاف السنوات وكل إنسان يعتمد علي ملكيته الخاصـة، لكن قيـاس المحيط المكـاني سيجعل كل إنسان يخرج من حدود قريته ويتجاوز أو يسمو فوق أرضه الخاصة وسيصبح وريثا لكوكب لأرض".

منذ بدء الخليقة والإنسان يحاول أن يكتشف المكان الذي يعيش فيه و الأمـاكن المحيطـة به. ومع سعي الإنسان لمعرفة أماكن توافر الموارد الطبيعية وتحديد الأمـاكن المناسـبة للزراعـة بـدأ علـم الجغرافيـا منـذ آلاف الـسنين. وفـي القرن العشرين الميلادي بدأت أنشطة علميـة كثيـرة تتجاوز المفهوم التقليدي للجغرافيا من خلال ما يمكن أن نطلق عليـه القياسـات الأرضـية الكونيـة Earth observations مـن خـلال تطبيـق واسـتخدام قياسـات أرضـية يـتم جمعهـا بواسـطة المسح الأرضـي Ground Survey و نظـم تحديد المواقع المعتمدة علـي الأقمـار الـصناعية Global Satellite Positioning Systems و المـسح التـصويري Photogrammetry والاسـتشعار عـن بعـد Remote Sensing سـواء بالطـائرات أو بالأقمـار الـصناعية. ويـتم جمـع كـل هـذه القياسـات و البيانـات، مـع اخـتلاف قـدرتها التوضـيحية المكانيـة Resolution و اخـتلاف دقتهـا Accuracy، فـي طبقـات يـتم تخزينهـا و تحليلهـا وإدارتـهـا فـي نظـم معلومـات جغرافيـة Geographic Information Systems و نظـم اتخاذ القرار Decision Support Systems اعتمادا علي تطوير ما يعرف بـالنظم الذكيـة Expert Systems. وهذا الكم الهائل من البيانات يجب بالضرورة تنظيمـه و تحليلـه وإتاحتـه للمستخدمين بدون أي تأخير للحصول علي التمثيل الدقيق للوضع المكاني. ومن هنا فقد تزايدت الحاجـة الـي التعامـل مـع كـل هـذه البيانـات و القياسـات بأسـلوب معرفـي متعـدد التخصـصات. وقد ُأطلق علـي هـذا الأسـلوب المعرفـي الجديد اسم "الجيومـاتكس Geomatics" وهـي كلمـة مكونـة مـن مقطـعين: geo بمعنـي الأرض و matics اختـصارا لكلمـة informatics بمعنـي علوم أو معلومات، ومن هنا فيمكننا أن نقول أن مصطلح الجيوماتكس يدل علي علم المعلوماتيـة الأرضية.

١-٢ تعريف الجيوماتكس:

ظهر مصطلح الجيوماتكس للمرة الأولى في بداية الثمانينات من القرن العشرين الميلادي في جامعة لافال Laval الكندية، اعتمادا علي مفهوم أن تقنية الحاسبات قد أنتجت ثورة علمية في المسح أو القياسات الأرضية وفي تمثيل البيانات رقميا بدرجة تناسب التعامل مع كم ضخم من البيانات. ومن هنا فأن **تعريف الجيوماتكس يتمثل في:**

"أسلوب متكامل متعدد التخصصات لاختيار الأجهزة و التقنيات المناسبة لجمع و تخزين ونمذجة و تحليل و استرجاع و عرض و توزيع المعلومات المكانية - الناتجة من عدة مصادر و المحددة الدقة و الخصائص - في صورة رقمية"

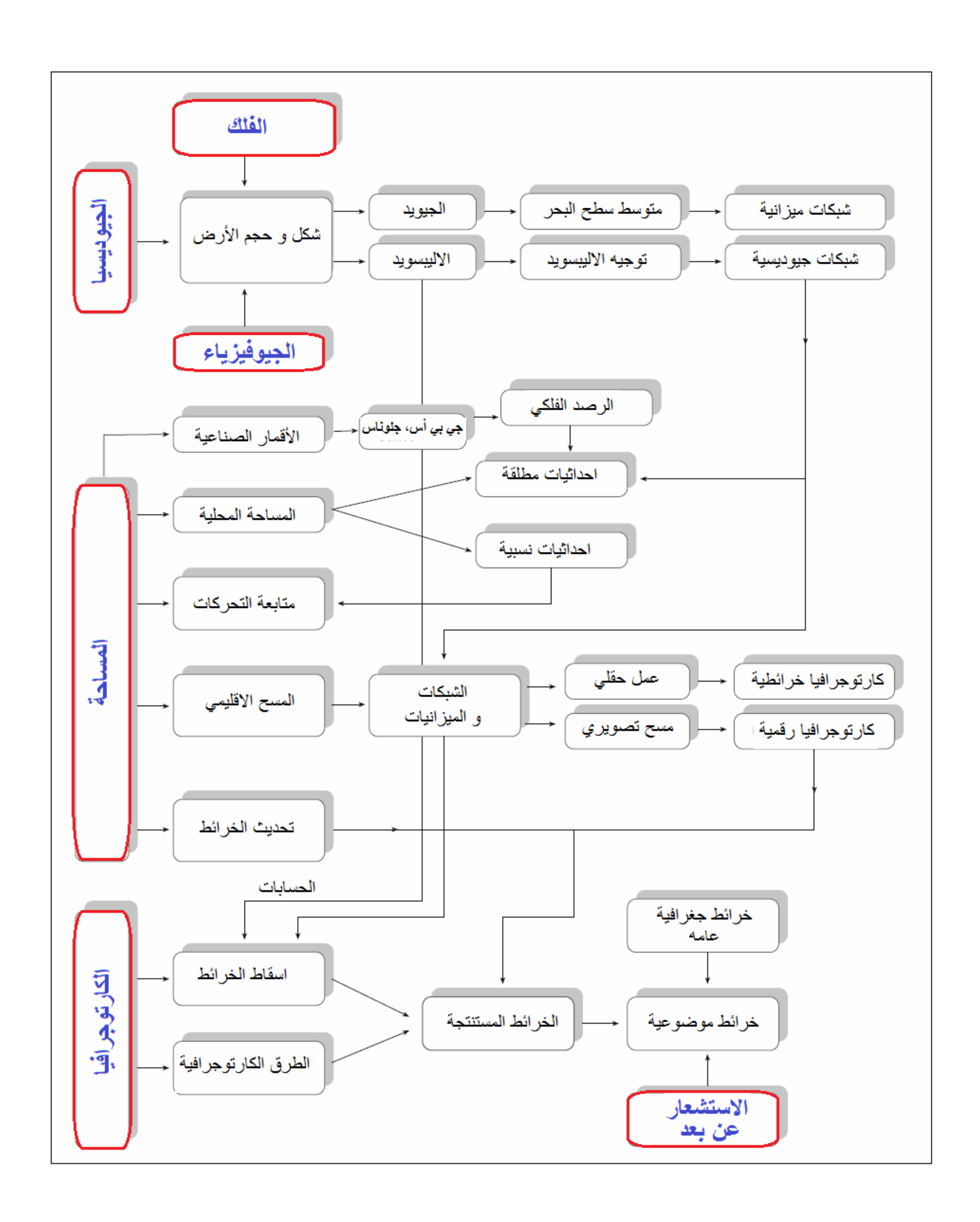
Geomatics is defined as a systemic, multidisciplinary, integrated approach to selecting the instruments and the appropriate techniques for collecting, storing, integrating, modeling, analyzing, retrieving at will, transforming, displaying and distributing spatially georeferenced data from different sources with well-defined accuracy characteristics, continuity and in a digital format.

ويعتمد علم أو تخصص الجيوماتكس في جوهره علي عدد من التخصصات العلمية أو العلوم الأساسية وأيضا التقنيات والتي تشمل:

- علم الكمبيوتر Computer Science: ويستخدم في تمثيل و تشغيل (حساب) المعلومات المجمعة من خلال تطوير أجهزة تقنية (عتاد أو hardware) و طرق و نماذج و نظم تقنية (برامج أو software).
- علم الجيوديسيا Geodesy: ويستخدم لتحديد شكل و حجم الأرض والنماذج الرياضية المستخدمة في هذا التمثيل مثل السطوح المرجعية أو الاليبسويد Ellipsoids و نماذج الجيويد Geoid Models وأيضا لتمثيل مجال الجاذبية الأرضية.
- علم المساحة Surveying: وهو الذي يجمع الطرق و الأجهزة و التقنيات المستخدمة في قياس و تمثيل تفاصيل معالم وتضاريس سطح الأرض.
- علم الخرائط Cartography: يقدم علم الكارتوجرافيا قواعد و أسس و طرق تمثيل المعالم الطبيعية و البشرية لسطح الأرض سواء تمثيلا ورقيا (خرائط تقليدية) أو رقميا (خرائط رقمية).

- علم المساحة التصويرية Photogrammetry: يحدد مواقع و أشكال الأهداف الأرضية من خلال القياسات علي الصور الجوية.
- الاستشعار عن بعد Remote Sensing: للحصول علي معلومات مكانية و بيئية دون الاحتكام المباشر مع الأهداف الأرضية (أي من بعد).
- النظام العالمي لتحديد المواقع Global Positioning System or GPS : للحصول علي الإحداثيات الثلاثية الأبعاد للأهداف الثابتة أو المتحركة لأي مكان علي سطح الأرض وتحت أية ظروف مناخية.
- نظم المسح الليزري Laser Scanning System: لتحديد الأهداف وقياس مسافاتها من خلال استخدام الأشعة في النطاق البصري (من ٠.٣ الى ١٥ مايكرومتر).
- نظم المعلومات الجغرافية Geographic Information Systems or GIS : تسمح بقدرات قوية للغاية في تخزين و معالجة و تحليل و عرض كم هائل من البيانات المكانية.
- نظم اتخاذ القرار Decision Support System or DSS: لتطبيق نظم معلومات جغرافية معقدة أو مركبة بهدف إيجاد سيناريوهات محتملة لنمذجة الواقع الحقيقي علي الأرض و توفير مجموعة من الحلول لمتخذي القرار.
- النظم الذكية Expert System or ES: تأخذ في الاعتبار أجهزة تستطيع أن تقلد عملية الإدراك لدي الخبراء وقدراتهم علي إدارة الحقائق المركبة وذلك بطريقة حسابية رقمية.
- نظم المعلومات الجغرافية العنكبوتية WebGIS: لتوفير و إتاحة و توزيع البيانات المكانية من خلال حاسبات (كمبيوترات) عن بعد بطريقة الشبكات الحاسوبية.
- علم الوجود Ontology: لتحديد المفاهيم والعلاقات لعنصر أو مجموعة من العناصر من خلال نظره إدراكية أو مفهوميه للعالم تستخدم في تطبيق محدد.

والأجزاء التالية تقدم وصفا مختصرا لكل عنصر من هذه العناصر المكونة للجيوماتكس.



شكل (١-١) بعض مكونات الجيوماتكس الرئيسية والعلاقات بينهم

١-٣ مكونات الجيوماتكس:

علم الكمبيوتر:

يعتمد علم المعلوماتية Informatics بصفة رئيسية علي علم الكمبيوتر بشقيه التقنيين سواء تقنيات العتاد أو الأجهزة المادية Hardware و تقنيات البرامج Software التي تعد وسيلة استنباط المعلومات. وقد زادت حاجة الإنسان لعلم المعلوماتية في العقود القليلة الماضية لحاجته الماسة للتعامل مع كم هائل من البيانات المركبة في جميع مجالات حياته. ولو أمعنا النظر فسنجد أن المخ البشري في حد ذاته يتعامل مع البيانات و يحللها ومن ثم يستطيع الوصول الي معلومات وبناءا عليها يقوم باتخاذ قراراته. وتقوم أجهزة الحاسوب بتخزين مجموعة من البيانات و الخطوات و الإرشادات ومن ثم تنفيذ هذه الخطوات بتتابع، بينما تعد البرامج الحاسوبية هي طريقة تنفيذ الخطوات المطلوبة بدقة و سرعة عالية.

البيانات و المعلومات:

يستخدم الكثيرون مصطلحي البيانات Data و المعلومات Information بطريقة مترادفة، مع أنهما مختلفين تماما في المعنى. فإذا أخذنا مثالا بسيطا فأن مجموعة من الحروف الأبجدية هي "بيانات" بينما تعد الكلمة المكونة من هذه الحروف بمثابة "معلومات". فالبيانات هي قياسات للعالم الخارجي، بينما المعلومات هي ما يستطيع أي نظام ذكي (سواء المخ البشري أو نظام الكتروني) الحصول عليه من معلومات بناءا علي تحليل هذه البيانات. أي أن الحصول علي معلومة هو عملية إدراكية مبنية علي البيانات. فكمثال فأن قواعد البيانات الرقمية هي بيانات بينما نتائج الاستعلام عن سؤال محدد ُتعد معلومات. وكمثال متعلق بالجيوماتكس فمن الممكن القول أن الصورة الخام القمر الصناعي هي نوع من البيانات بينما المعلومات هنا هي ما يمكن استنباطه من هذه الصورة مثل الخرائط الطبوغرافية أو الموضوعية.

الجيوديسيا و الكارتوجرافيا:

منذ القدم كان من أهم التحديات أمام العلماء و الباحثين كيفية تمثيل سطح الأرض بطريقة اصطناعية شاملة و دقيقة بقدر الإمكان. ويعد علم الكارتوجرافيا هو علم تمثيل سطح الأرض علي خريطة بناءا علي قواعد محددة. ويقدم الاتحاد العالمي للكارتوجرافيا تعريفا شاملا للخريطة وهو: الخريطة هي تمثيل اصطناعي للواقع الجغرافي يمثل مظاهر مختارة أو خصائص معينة - يتم تمثيلها بناءا علي وجهة نظر معد الخريطة - ويتم تصميم هذا التمثيل

لاستخدامه عندما تكون المعلومات المكانية هي الأساس المطلوب التعامل معه. ويبني علم الكارتوجرافيا علي عدد من العلوم الأساسية الأخرى مثل علوم الفيزياء والجغرافيا و الهندسة والرياضيات بالإضافة للعلوم التقنية الحديثة مثل التقنيات الإحصائية و الحاسوبية للتعامل مع البيانات.

يهتم علم الجيوديسيا بتحديد شكل و أبعاد كوكب الأرض من خلال شقيه الجيوديسيا الفيزيقية و الجيوديسيا الهندسية. تقوم الجيوديسيا الفيزيقية أو الطبيعية بتحديد مجال الجاذبية الأرضية للأرض ومن ثم تحديد الشكل الحقيقي للأرض المعروف باسم الجيويد. وعلي الجانب الآخر فأن أفرع الجيوديسيا الهندسية - مثل الفلك - تقوم بتحديد مواقع النقاط والظاهرات علي الأرض وذلك من خلال القياسات الفلكية علي النجوم الطبيعية أو من خلال القياسات علي الأقمار الصناعية.

<u>المساحة:</u>

المساحة أو الطبوغرافيا (مشتقة من مقطعين: طبو بمعني مكان و غرافيا بمعني كتابة) هي علم وصف معالم سطح الأرض باستخدام الرسم و القياس. ومنذ القدم فيعد علم المساحة أحد فروع العلوم الهندسية التطبيقية حيث عرفته البشرية منذ آلاف السنين خاصة لتمثيل وتحديد الملكيات. ومع بداية القرن العشرين الميلادي دخلت تقنيات التصوير الجوي و التصوير الفضائي لتكمل الصورة العامة لمفهوم المساحة.

<u>المساحة التصويرية:</u>

تعرف المساحة التصويرية علي أنها عملية اشتقاق معلومات مترية عن هدف محدد من خلال قياسات تتم علي صور جوية (ملتقطة من الطائرات) مما يقود الي عملية تفسير الصور (بصريا أو من خلال أجهزة) للحصول أيضا علي معلومات وصفية عن الهدف. ومع تطبيق التصوير باستخدام الأشعة غير المرئية فقد توسع مفهوم المساحة التصويرية و تفسير الصور ليشمل الاستشعار عن بعد و أيضا التفسير الرقمي للصور digital image processing باستخدام أجهزة و برامج حاسوبية. ومن ثم فقد أصبح هناك تعريفا جديدا للمساحة التصويرية و الاستشعار عن بعد ليصبح:

> علم و فن و تقنية الحصول علي معلومات عن أهداف طبيعية وعن البيئة من خلال عملية جمع و قياس و تحليل الصور (الفوتوغرافية أو الرقمية) وعملية النمذجة

الرياضية للطاقة الكهرومغناطيسية المسجلة بواسطة أجهزة (كاميرات أو ماسحات) دون الاحتكاك المباشر مع هذه الأهداف.

الاستشعار عن بعد:

يشمل الاستشعار عن بعد تقنيات اشتقاق معلومات عن هدف أو موقع محدد يقع علي مسافة من جهاز الاستشعار (المستشعر). وهناك ما يعرف بالاستشعار عن بعد السالب passive remote sensing حيث يكون مصدر المعلومات هو الأشعة المنبعثة أو المنعكسة أو الممتصة بواسطة الهدف وهي ما تسمح لنا بدراسة وتحديد طبيعة الهدف من خلال مدي تفاعله مع هذه الأشعة. فلكل عنصر من عناصر الأرض طبيعة محددة في التعامل مع الأشعة من حيث درجة أو نسبة الامتصاص أو الانعكاس أو الانبعاث وذلك بناءا علي الخصائص الطبيعية و الكيمائية والتكوينية لهذا العنصر. وفي هذا النوع من الاستشعار عن بعد (السالب) تكون الشمس هي المصدر الرئيسي للأشعة أو الطاقة المستخدمة في عملية الاستشعار، أي أن المستشعر يقوم فقط باستقبال الأشعة أو الطاقة. أما الاستشعار عن بعد الموجب أو الفاعل active remote sensing فأن جهاز الاستشعار ذاته هو من يطلق ثم يستقبل الطاقة الكهرومغناطيسية، وذلك مثل مفهوم الرادار حيث يتم إطلاق أشعة ترتد من الهدف ومن خلال قياس الفترة الزمنية يمكن حساب المسافة بين الهدف و جهاز الرادار.

وتتعدد التطبيقات البيئية للاستشعار عن بعد (والتصوير الجوي أيضا) لتشمل الجيولوجيا و الجيومورفولوجي (علم أشكال سطح الأرض) و الهيدرولوجيا و علم دراسة المحيطات ودراسات الموارد الطبيعية و الزراعية والتلوث البيئي والتخطيط العمراني و الإقليمي ودراسة و متابعة المخاطر البيئية وتطبيقات أخرى كثيرة. وتجدر الإشارة الى أن الاستشعار عن بعد لا يجمع معلومات مباشرة عن البيئة لكن اشتقاق المعلومات يتم من خلال تحويل قيم الطاقة الكهرومغناطيسية الي قيم محددة تعبر عن الطبيعة الكيمائية و الفيزيقية و الحيوية للأهداف المستشعرة، ومن ثم فأن نتائج الاستشعار عن بعد تعتمد أساسا علي البرامج الحاسوبية و النماذج الرياضية المستخدمة في تفسير و تحليل الطاقة التي يستقبلها و يسجلها جهاز الاستشعار.

ويتميز الاستشعار عن بعد (خاصة بالأقمار الصناعية) بإمكانية استشعار نفس المنطقة الجغرافية عدة مرات في فترة زمنية تتراوح من عدة ساعات الي عدة أسابيع، وهذا ما يسمح لنا بإمكانية الحصول علي خرائط محدثة بصفة دورية وأيضا إمكانية متابعة الظاهرات الجغرافية المتحركة أو الديناميكية.

النظم العالمية لتحديد المواقع:

تسمح نظم تحديد المواقع بالحصول علي الإحداثيات ثلاثية الأبعاد three-dimensional positions للأهداف الثابتة أو المتحركة في أي مكان علي الأرض و تحت أية ظروف مناخية. والفكرة الأساسية في هذه النظم تعتمد علي إرسال الأقمار الصناعية لموجات من الراديو يتم استقبالها و تسجيلها من خلال أجهزة استقبال أرضية خاصة، ومن ثم حساب إحداثيات موقع جهاز الاستقبال. وتعتمد تلك الحسابات علي معرفة إحداثيات القمر الصناعي ذاته (في لحظة إرسال الإشارة الراديوية) اعتمادا علي المعرفة المسبقة لمدار القمر الصناعي في الفضاء منسوبة الي نظام إحداثيات و مرجع جيوديسي محدد (مثل المرجع الجيوديسي العالمي WGS84). ويتم تحديد إحداثيات موقع جهاز الاستقبال (أو الأنتنا antenna) من خلال حساب المسافة بين الجهاز و القمر الصناعي بمعرفة الزمن المستغرق بين لحظة إرسال الشارة من القمر الصناعي و لحظة استقبالها في جهاز الاستقبال.

حاليا يوجد نظامين عالميين من النظم العالمية لتحديد المواقع وهما النظام الأمريكي المعروف باسم النظام العالمي لتحديد المواقع Global Positioning System المعروف اختصارا باسم الجي بي أس GPS ، والنظام الروسي لتحديد المواقع المعروف باسم جلوناس GLONASS. كما يقوم الاتحاد الأوروبي بتطوير نظام عالمي جديد لتحديد المواقع تحت اسم جاليليو Galileo، وأيضا تقوم الصين بتطوير نظام مشابه.

المسح الليزري:

تعد تقنية المسح الليزري تقنية مساحية مميزة للحصول علي الأبعاد الثلاثية بدقة عالية وفي مستوي ملموس من الآلية و الإنتاجية العالية. تعتمد هذه التقنية علي وجود مصدر أو جهاز (ثابت أو متحرك سواء علي الأرض أو من خلال طائرة) لإطلاق أشعة الليزر تغطي مجموعة كبيرة من النقاط، ومن خلال استقبال الأشعة المنعكسة من كل نقطة يمكن تحديد الأبعاد الثلاثية لكلا منها ومن ثم الحصول علي صورة ثلاثية الأبعاد لكل معالم المنطقة. وتعد تقنية المسح الليزري تطورا ثوريا في مفهوم المساحة التصويرية حيث أصبح من الأسهل و الأسرع الحصول علي الإحداثيات الثلاثية للأهداف دون الحاجة لتوافر الصور المزدوجة stereo pair of photographs مما سمح بتخفيض خطوات و تكلفة عملية اشتقاق الإحداثيات وجعلها تتم بصورة شبة أوتوماتيكية و بمعدل عالي من الإنتاجية.

نظم المعلومات الجغرافية:

كبرنامج حاسوبي لإدارة المعلومات الجغرافية ظهرت نظم المعلومات الجغرافية Geographic Information Systems - أو اختصارا GIS - لأول مرة في منتصف الستينات من القرن العشرين الميلادي. إلا أن التسعينات من القرن العشرين شهدت زيادة هائلة في انتشار تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية مع زيادة قدراتها علي تخزين و أرشفة و تشغيل و نمذجة و تحليل البيانات بهدف تمثيل الواقع الحقيقي. وتوجد عدة تعريفات لنظم المعلومات الجغرافية و منهم علي سبيل المثال تعريف Aronoff 1989: نظم المعلومات الجغرافية هي مجموعة من الخطوات الحاسوبية تستخدم لتخزين و إدارة و معالجة البيانات المكانية أو الجغرافية ، وأيضا تعريف Burrough 1997: نظم المعلومات الجغرافية هي مجموعة فعالة من الأدوات لجمع و تخزين و تحليل و عرض البيانات المكانية عن الواقع الحقيقي لغرض أو أعراض محددة. ويعتمد تمثيل البيانات المكانية علي: (أ) البيانات المكانية وتشمل الموقع أو الإحداثيات منسوبة لنظام محدد، (ب) البيانات غير المكانية للأهداف أو المعالم مثل الاسم و النوع والمساحة .... الخ، (ج) العلاقات المكانية بين الأهداف أو المعالم (الطبولوجي).

نظم اتخاذ القرار و النظم الذكية:

تطور تعريف تقنية نظم المعلومات الجغرافية لينتج ما يمكن أن نطلق عليه اسم تقنية نظم اتخاذ القرار Decision Support Systems أو اختصار DSS والتي يمكن تعريفها كالتالي: هي مجموعة فعالة من الأدوات لجمع و تخزين و تحليل و عرض البيانات المكانية عن الواقع الحقيقي بهدف إمداد متخذي القرار بتقديرات موضوعية عن المشاكل البيئية. وتهدف نظم اتخاذ القرار الي دراسة البدائل المختلفة لمشكلة محددة بهدف بيان وتحديد التداعيات أو الآثار المحتملة لكلا منهم. فكمثال عند دراسة حدوث فيضان أو بركان فيتم دراسة قوته و امتداده المكاني وآثاره المتوقعة بهدف الوصول الي وضع خطة محددة للتعامل معه وتحديد خطة إخلاء السكان.

المعلومات المكانية:

في عام ٢٠٠٣م ظهر مصطلح معلومات البيانات المكانية Spatial Data Information مع إنشاء منظمة البنية التحتية للمعلومات العالمية Global Spatial Data Infrastructure والتي عرفا اختصارا باسم GSDI. وتهدف هذه المنظمة لزيادة التعاون الدولي لتكوين بنية تحتية للمعلومات المكانية علي المستويات الوطنية و العالمية والتي ستسمح

للأمم بدراسة أدق للظواهر الاجتماعية و الاقتصادية و البيئية. ومن ثم فقد أصبح مصطلح المعلومات المكانية GeoSpatial Information (أو اختصارا GI) مصطلحا مقبولا علي المستوي العالمي للتحديد الدقيق للعالم الذي نعيش فيه.

الجغرافيا:

تعتمد الجغرافيا علي عدة علوم طبيعية و بشرية لتشكل معا مفهوما تفسيريا لتحليل و تفسير العلاقات و المؤثرات للأهداف المتطورة باستمرار. ومن ثم فتشمل الدراسات الجغرافية أسس علوم الأرض (مثل الجيولوجيا و المناخ و دراسة استخدامات الأراضي ... الخ) والعلوم الرياضية الطبيعية (مثل الرياضيات و الإحصاء و الفيزياء .. الخ) والعلوم الإنسانية المجتمعية (مثل التاريخ و الاجتماع ... الخ) وأيضا العلوم السياسية و الاقتصادية (مثل الاقتصاد و السياسة و القانون و التخطيط ... الخ). ومن هنا فأن دراسة الجغرافيا للمكان لا تعتمد فقط علي الموقع بل تمتد لتشمل مفاهيم التوزيع والانتشار و الترابط و العلاقات المكانية بين المظاهر و المعالم الأرضية.

١-٤ أخصائى الجيوماتكس:

مع الزيادة الكبيرة في تطبيقات المعلومات المكانية والحاجة لعدة تخصصات و تقنيات للتعامل معها فقد تطور حديثا تخصص علمي جديد تحت مسمي أخصائي أو خبير الجيوماتكس. فإذا نظرنا للتطور التاريخي فنجد تخصص المساحة الأرضية قد ظهر مع بداية القرن السابع عشر الميلادي ليدل علي علم يجمع علوم الرياضيات و الفيزياء و الفلك. ومع بداية القرن التاسع عشر وزيادة اعتماد المساحة علي الرياضيات و أجهزة القياس الدقيقة فقد تم تصنيف المساحة الأرضية كأحد تخصصات أو أفرع الهندسة المدنية. ومع توسع تخصصات و تقنيات المساحة لتشمل الجيوديسيا و التصوير الجوي و الاستشعار عن بعد و نظم المعلومات الجغرافية ونظم اتخاذ القرار فلم يعد مصطلح "المساح" أو "مهندس المساحة" شاملا لكل هذه التقنيات ومن ثم ظهر تخصص "أخصائي أو خبير الجيوماتكس" وهو الفرد الذي يستطيع أن يتعامل مع كل مكونات علم الجيوماتكس بصورة تكاملية.

الفصل الثاني

عناصر الكارتوجرافيا

٢-١ مقدمة

للكارتوجرافيا أهمية رئيسية للبيانات المكانية (التي لها إحداثيات) حيث أن الكارتوجرافيا هي علم تقديم وصف لشكل و حجم الأرض ومعالمها الطبيعية و البشرية وإظهار هذا الوصف علي الخرائط. وتشمل الوظائف الأساسية للكارتوجرافيا:

- إعطاء المعرفة الدقيقة للمنطقة بالاعتماد علي قياسات لكل هدف أو معلم وإعطاء معرفة عامة من وجهة نظر كونية.
- السماح بتطوير طرق و وسائل استنتاجيه و استقرائية لعلاقات التواجد و التقارب و التكرار.
- العمل كمصدر أساسي يخدم تصنيف و تخطيط و إدارة الأراضي.

إن الخريطة الكارتوجرافية هي تمثيل تقريبي مسطح و رمزي لسطح الأرض أو أجزاء منه، وهذا يتطلب نظم لتمثيل شكل الأرض البيضاوي (الاليبسويد) علي مستوي ومن خلال علامات أو رموز محددة. وتتعدد مراحل تطوير الخريطة لتشمل:

- مسح (قياس) و اختيار البيانات المكانية.
- التوحيد القياسي للبيانات Data Standardization.
- تعميم البيانات Data Generalization.
- تحويل نقاط سطح الأرض الحقيقي الي ما يقابلها علي سطح مرجعي reference surface من خلال الاعتماد علي نظم إحداثيات مرجعية.
- تمثيل السطح المرجعي للأرض علي الخريطة من خلال نماذج رياضية تسمح بتمثيل المعالم أو النقاط الأرضية علي الخريطة أو علي شاشة الحاسوب.
- إدراك الخريطة realization من خلال الرموز و مفتاح الخريطة.

يقدم هذا الفصل أسس موضوعات تحديد شكل و حجم الأرض والمراجع الجيوديسية المرجعية و نظم الإحداثيات وإسقاط الخرائط وأنواع الخرائط و الكارتوجرافيا الرقمية الحديثة.

٢-٢ نبذة تاريخية:

تعد الخرائط جسرا يربط بين العالم الداخلي لعقل الإنسان والعالم الخارجي والبيئة المحيطة به، كما أنها من أقدم وسائل الاتصال ونقل المعلومات بين جماعات البشر. يقول المؤرخون أن الإنسان قد عرف الخرائط حتى قبل أن يعرف الكتابة، فقد درج الإنسان منذ قديم الأزل أن"يرسم" طريقا الي هدفا أو موقعا جغرافيا معينا ليسهل عليه الوصول إلى هذا المكان أو الهدف. وقد كانت الجماعات البشرية في العصر البدائي تتجول في مناطق شاسعة بهدف الحصول علي الطعام و الماء مما جعل معرفة الاتجاهات و المسافات و "رسمها" في غاية الأهمية لهم. وقد أكتشف الإنسان القديم أن "الرسم" يمكنه من توثيق و نقل الكثير من المعلومات وخاصة المكانية بطريقة أكثر سهولة و دقة من "الكلام". وقد وجد الأثريون العديد مما يمكن أن نطلق عليه "خرائط" للحضارات البدائية أو حضارات ما قبل التاريخ، مما جعل البعض يرجع عمر الخرائط لحوالي ٨٠٠٠ عام. ومع أن البعض يعيد التاريخ المعروف للخرائط الي الخرائط البابلية، إلا أنه قد تم العثور في عام ١٩٦٣م (١٣٨٢ هـ) علي ما يمكن أن نطلق عليه "رسم خرائطي" علي الجدران بطول تسعة أقدام في أنقرة بتركيا و يعود تقريبا لعام ٦٢٠٠ قبل الميلاد، ووجد أن هذا "الرسم" يصف قلعة هيوك في الأناضول وأمكن التعرف علي حوالي ثمانين مبني داخل القلعة والجبال البركانية المحيطة بها. وتوجد هذه اللوحة الجدارية في متحف جامعة هارفارد الأمريكية.

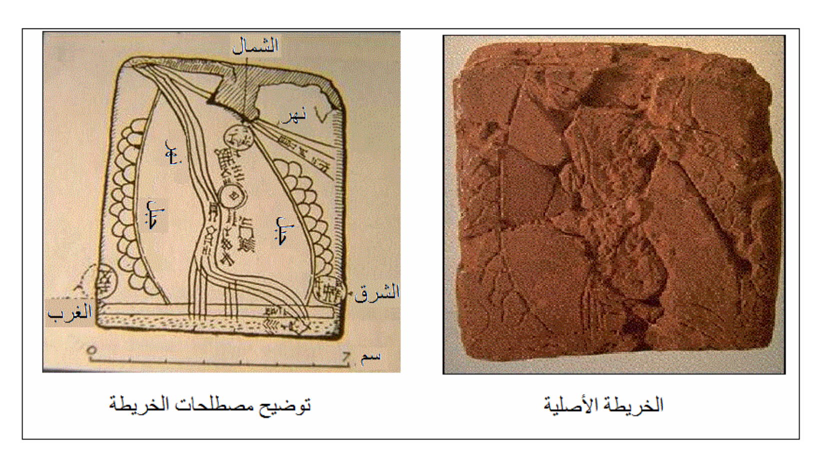


شكل (٢-١) أقدم "رسم خرائطي" يعود لعام ٦٢٠٠ قبل الميلاد

خرائط الحضارات القديمة

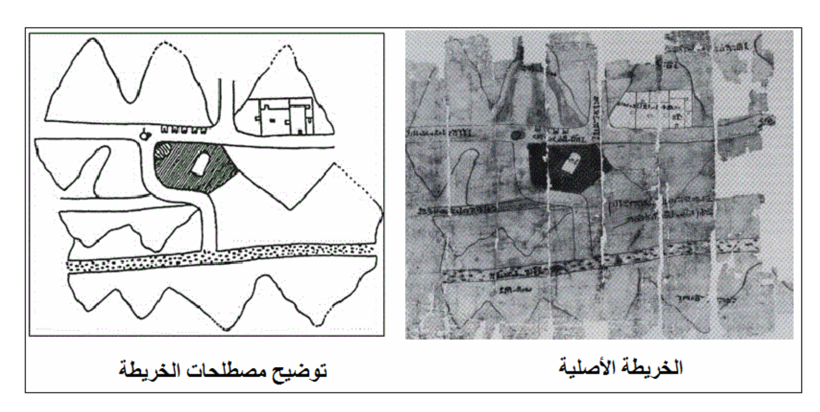
تعود أقدم الخرائط المعروفة الى الحضارة البابلية في العراق (حوالي ٢٥٠٠ عام قبل الميلاد) حيث أنشأت الخرائط كأساس لتقدير الضرائب وكانت ترسم علي لوحات من الصلصال المحروق. وتوجد في متحف آثار جامعة هارفارد الأمريكية أقدم خريطة بابلية معروفة باسم "خريطة جاسور" التي تم اكتشافها في مدينة جاسور شمال بابل في عام ١٩٣٠م وهي عبارة

عن لوح من الصلصال مساحته ٧.٦ × ٦.٨ سنتيمتر موضحا عليها جزء من نهر و ما يحيط به من مرتفعات و تلال.



شكل (٢-٢) خريطة جاسور لعام ٢٥٠٠ قبل الميلاد

كما أسهمت الحضارة الفرعونية في مصر القديمة إسهاما قويا في تطور علم الخرائط حيث برع قدماء المصريين في علوم المساحة و الفلك و الرياضيات. أيضا كان الهدف الأساسي من وضع الخرائط حينئذ هو تقدير الضرائب علي الأراضي الزراعية، إلا أن قدماء المصريين كانوا يرسمون الخرائط علي ورق البردي المعرض للتلف سريعا مما جعل الخرائط المصرية القديمة نادرة في وجودها حتى اليوم. وتوجد أقدم الخرائط المصرية المعروفة في متحف تورينو ويعود تاريخها إلي عام ١٣٢٠ قبل الميلاد وتوضح موقع أحد مناجم الذهب في جنوب مصر وما يحيط بهذه المنطقة من معالم جغرافية حيث يظهر بها طريقين متوازيين يمران بمناطق جبلية، بينما يظهر أحد الأودية يربط بين نهر النيل و البحر الأحمر، ويظهر موقع منجم الذهب باللون الأحمر علي الخريطة. وتعبر هذه الخريطة التاريخية عن فهم الإنسان القديم لأهمية الخرائط وما يمكنها أن تحتوي من معلومات جغرافية عن مكان محدد حتى لو كان هذا المكان تحت سطح الأرض.



شكل (٢-٣) خريطة المنجم الفرعوني لعام ١٣٢٠ قبل الميلاد

أيضا ساهمت الحضارة الصينية القديمة في علم الخرائط إسهاما فاعلا حيث قام العالم "بي هيسين" في حوالي عام ٢٢٧ قبل الميلاد بوضع أسس لعلم صناعة الخرائط (علم الكارتوجرافيا) عند صنع الخرائط لكافة مناطق الحضارة الصينية التي امتدت من إيران غربا إلي اليابان شرقا. وربما ترجع البداية العلمية الحقيقية لعلم الكارتوجرافيا إلي الحضارة الإغريقية التي بنيت علي مبادئ المساحة و الفلك و الرياضيات التي عرفتها الحضارات البابلية و الفرعونية و الصينية ثم محاولة رسم خرائط للعالم كله (المعروف في ذلك الوقت). ومن أشهر الخرائط العالمية الإغريقية "خريطة هيرودوت" حوالي عام ٤٥٠ قبل الميلاد والتي رسمها بناءا علي المعلومات الجغرافية الحقيقية التي جمعها من البحارة، وأيضا "خريطة ايراتوستين" حوالي ٢٠٠ عام قبل الميلاد وهو الذي شغل منصب أمين مكتبة الإسكندرية في ذلك الوقت وقام بأول محاولة علمية لحساب محيط الأرض. أما رائد علم الكارتوجرافيا العلمية فهو العالم الكبير "بطليموس" – حوالي ١٠٠ عام قبل الميلاد - والذي ظلت نظرياته عن الجغرافيا و الخرائط قائمة لمدة أربعة عشر قرنا حتى حلت مكانها نظريات نيوتن في العصر الحديث. وتجدر الإشارة الي أن مفهوم الأرض في الحضارات القديمة كان أنها عبارة عن قرص من اليابسة يطفو فوق سطح مياه البحار و المحيطات.



شكل (٢-٤) خريطة العالم لهيرودوت
٤٥٠ قبل الميلاد

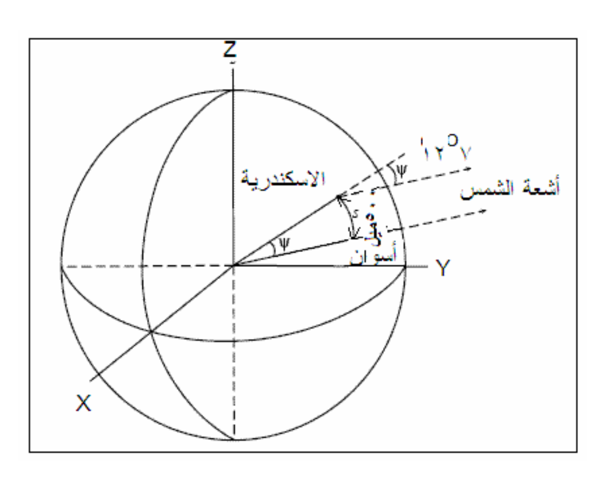


شكل (٢-٥) خريطة العالم لبطليموس
١٠٠ قبل الميلاد



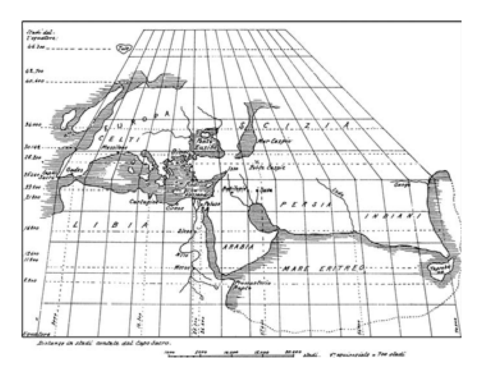
شكل (٢-٦) تصور الأرض كقرص من اليابسة يطفو فوق سطح المياه

ويعتمد رسم الخريطة علي معرفة شكل الأرض و حجمها حيث أن الخريطة ما هي إلا رسم مصغر للأرض أو جزء منها. لذلك أسهم الرياضيون و الفلكيون إسهاما علميا كبيرا في علم الخرائط، وتعد تجربة العالم اليوناني ايراتوستين حوالي ٢٠٠ عام قبل الميلاد أول تجربة علمية لتقدير محيط الأرض باعتبار أنها كرة وليست قرص. لاحظ ايراتوستين أن الشمس قي يوم ٢١ يونيو (حزيران) من كل عام تكون مرئية في مياه بئر بمدينة أسوان ، أي أنها تكون عمودية تماما في هذا الموقع ، وبعد ذلك أفترض أن مدينة الإسكندرية تقع إلي الشمال مباشرة من مدينة أسوان. ثم قام بقياس زاوية ميل أشعة الشمس عند الإسكندرية ووجدها ٧.٢ درجة ، وقدر أن هذا الجزء – بين الإسكندرية و أسوان – يعادل ٥٠/١ من الدائرة التي تمثل الأرض (شكل ٢-٧). وبعد ذلك قام بقياس المسافة بين كلا المدينتين فكانت حوالي ٥٠٠٠ أستاديا (وحدة قياس المسافات في ذلك الوقت) أي ما يعادل ٥٠٠ ميل أو ٨٠٠ كيلومتر، ومن ثم تمكن هذا العالم من حساب محيط الأرض (٥٠ ضعف المسافة المقاسة بين أسوان و الإسكندرية) ليكون في تقديره حوالي ٢٥٠٠٠ ميلا. ومن المذهل أن نعرف أن هذه التجربة الجيوديسية في ذلك الزمن البعيد و باستخدام آلات بدائية لم تكن بعيدة إلا قليلا عن طول محيط الأرض الذي نعرفه اليوم وهو ٢٤٩٠١ ميلا.



شكل (٢-٧) تجربة العالم ايراتوستين لتقدير محيط الأرض

وبعد ذلك وتقريبا في عام ١٥٠ قبل الميلاد تمكن عالم الرياضيات اليوناني أبرخش (أو هيبارخوس) من وضع أول نظام إحداثيات للخرائط حيث قسم الأرض الي شبكة من الخطوط العرضية و الطولية علي مسافات متساوية بناءا علي الحسابات الفلكية.

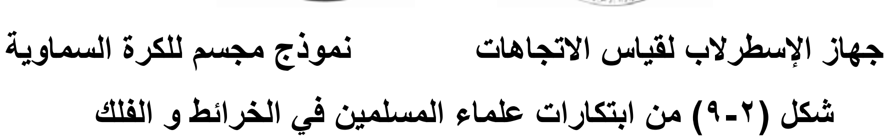


شكل (٢-٨) خريطة أبرخش ١٥٠ قبل الميلاد: أول خريطة لها نظام إحداثيات

خرائط الحضارة الإسلامية

عني الدين الإسلامي الحنيف منذ بدايته بالعلم علي اختلاف أنواعه و مذاهبه وحث المسلمين علي التعلم و طلب العلم مهما بعد المكان. ومع ازدياد رقعة الدولة والحضارة الإسلامية أهتم علماء المسلمين بعلوم الخرائط و الجغرافيا و الفلك و الرياضيات، فقاموا أولا بترجمة الكتب والنظريات الجغرافية السابقة إلي اللغة العربية ثم قاموا بالإبداع العلمي و تطوير هذه الأسس بصورة علمية دقيقة للغاية. فقد قام العالم الإسلامي الكبير "محمد بن موسي الخوارزمي" بوضع الأسس الرياضية لعلم الجغرافيا في كتابه "صور الأرض" في النصف الأول من القرن التاسع الميلادي. تجدر الإشارة إلي أن الحضارة الأوروبية قد أنصف إسهامات هذا العالم الكبير وتخليدا له فقد تم إطلاق أسم خوارزم Algorithm علي عملية و خطوات تطوير برامج الكمبيوتر. أيضا أهتم علماء المسلمين بالقياسات الدقيقة التي من شأنها زيادة دقة و جودة الخرائط المرسومة، فقاموا باختراع أول جهاز لقياس الزوايا و الاتجاهات وهو جهاز الإسطرلاب. وبجمع قياسات فلكية عديدة و دقيقة للأجرام السماوية و أماكنها و حركاتها تمكن علماء المسلمين من صنع أول نموذج مجسم للكرة السماوية مما أدي لتأسيس قواعد علمية جديدة لعلم الفلك.





جهاز الإسطرلاب لقياس الاتجاهات نموذج مجسم للكرة السماوية

شكل (٢-٩) من ابتكارات علماء المسلمين في الخرائط و الفلك

أيضا قام "أبو زيد أحمد بن سهل البلخي" بإعداد أطلس يضم مجموعة من الخرائط وهو المعروف باسم أطلس البلخي أو أطلس الإسلام. وفي المراجع العلمية و كتب تاريخ الخرائط أطلق الجغرافيين مصطلح "مدرسة البلخي" علي عدد كبير من صناع الخرائط في الحضارة الإسلامية لما تميز به هذا العالم الجليل من ابتكارات علمية ورؤية دقيقة لعملية رسم الخرائط، واستمرت هذه المدرسة عدة قرون. أما أشهر صناع الخرائط المسلمين فهو "أبو حسن علي المسعودي" والذي تعتبر خريطته أدق الخرائط العربية التي تحدد معالم العالم في ذلك الوقت، وأيضا العالم الكبير احمد بن عبد الله الإدريسي - في النصف الأول من القرن الثاني عشر الميلادي - والذي يعد كتابه "نزهة المشتاق في أخبار الآفاق" من أعمدة الكتب الجغرافية النفيسة وأحتوي الكتاب علي خريطته الشهيرة للعالم. كما دأب علماء المسلمين علي وضع جداول تحدد المواقع الجغرافية (خطوط الطول و العرض) للمعالم الجغرافية حتى يمكن استخدام هذه "الإحداثيات" في إعداد الخرائط و في الترحال في الدولة الإسلامية المترامية الأطراف، وكانت هذه الجداول النصية من أهم الابتكارات الجغرافية للحضارة الإسلامية. أيضا ابتكر علماء المسلمين ما يعرف الآن باسم "الخرائط المناخية" حيث كانوا يقسمون المناطق الجغرافية الظاهرة علي الخرائط الي نطاقات مناخية. وبالإضافة لذلك فقد أسهم علماء المسلمين إسهامات علمية كبيرة في ابتكار معادلات و قوانين رياضية جديدة في علم المساحة و الجيوديسيا (علم القياسات علي سطح الأرض) وخاصة العالم الكبير أبو الريحان محمد بن أحمد البيروني الذي كان له انجازات قوية في تحديد الإحداثيات الدقيقة (خطوط الطول و العرض) للمواقع الجغرافية علي الأرض وذلك في القرن الحادي عشر الميلادي (القرن الخامس الهجري)، و ظلت نظرياته العلمية مطبقة حول العالم حتى مطلع القرن السابع عشر الميلادي (القرن الحادي عشر الهجري).



خريطة العالم للإصطخري

تقريبا ٥٨٨هـ / ١١٩٣م



خريطة العالم للإدريسي

تقريبا ٥٦٦ هـ / ١١٧٠ م



خريطة العالم للقزويني

في القرن ٩ هـ / القرن ١٥ ميلادي



خريطة العالم لابن السعيدي

تقريبا ٩٧٨ هـ / ١٥٧٠ م

شكل (٢-١٠) بعض الخرائط الإسلامية القديمة

خرائط الحضارة الأوروبية

مع بدء عصر النهضة في أوروبا تم ترجمة الكتب العربية إلي اللغات الأوروبية ومن ثم انتقلت أسس الجغرافيا والخرائط التي سادت الحضارة الإسلامية إلي أوروبا، وبدأ العلماء في تحسين الخرائط القديمة وإضافة المعالم والمناطق الجغرافية التي لم تكن معروفة سابقا وتوالت ظهور الخرائط في الدول الأوروبية فيما بين عامي ١٤٢٥م و ١٤٦٠م.(٨٢٨ - ٨٦٤ هـ) وظهرت الطباعة في هذه الفترة مما ساعد علي إنتاج مئات بل آلاف الخرائط بسهولة لم تكن معروفة فيما قبل حيث كانت الخرائط تعتمد علي الرسم اليدوي. ويعد "جيرار ميريكاتور" من أشهر علماء الكارتوجرافيا في أوروبا بعد بطليموس حيث صنع خريطة لأوروبا في عام ١٥٥٤م وأعقبها بنشر خريطته للعالم في عام ١٥٦٩م (٩٧٦ هـ) ثم ظهر الجزء الأول من الأطلس الذي قام بإعداده في عام ١٥٨٥م (٩٩٢ هـ).



عام ١٤٨٢ م (٨٨٧ هـ)

عام ١٥٦٥ م (٩٧٢ هـ)



عام ١٦٦٤ م (١٠٧٤ هـ)



عام ١٧١٦ م (١١٢٨ هـ)

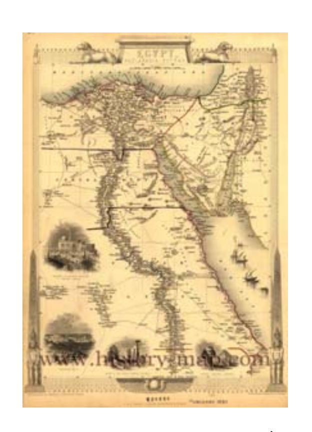


عام ١٨٠٨ م (١٢٢٣ هـ)

شكل (٢-١١) نماذج للخرائط التاريخية للعالم



خريطة عام ١٦٦٦م (١٠٧٦ هـ) لشبة الجزيرة العربية



خريطة عام ١٨٥١ م (١٢٦٧ هـ) لمصر

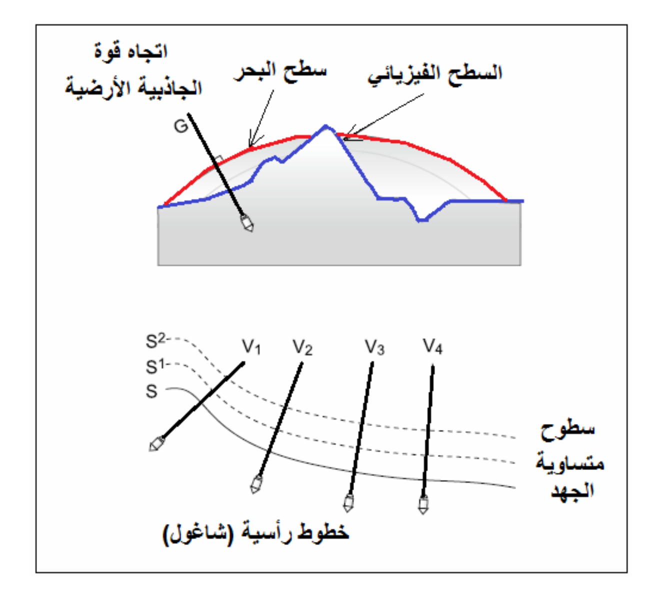
شكل (٢-١٢) نماذج للخرائط التاريخية للعالم العربي

٢-٣ شكل الأرض: الاليبسويد و الجيويد:

يهتم علم الجيوديسيا بتحديد شكل و حجم الأرض اعتمادا علي القياسات الدقيقة مثل قياس المسافات وتحديد مواقع النجوم و قياس قوة الجاذبية الأرضية .... الخ. فالأرض وان كانت شبه كروية الشكل Almost Spherical إلا أن شكلها الحقيقي ليس شكلا منتظما كما أثبتت الدراسات الحديثة. وإن افترضنا أن سطح الأرض أملس smooth تماما (بدون تضاريس) فسنجد أن المسافات بين أي نقطة علي السطح و مركز الأرض ليست مسافات متساوية وأن قوة الجذب متغيرة من نقطة لأخرى بسبب:

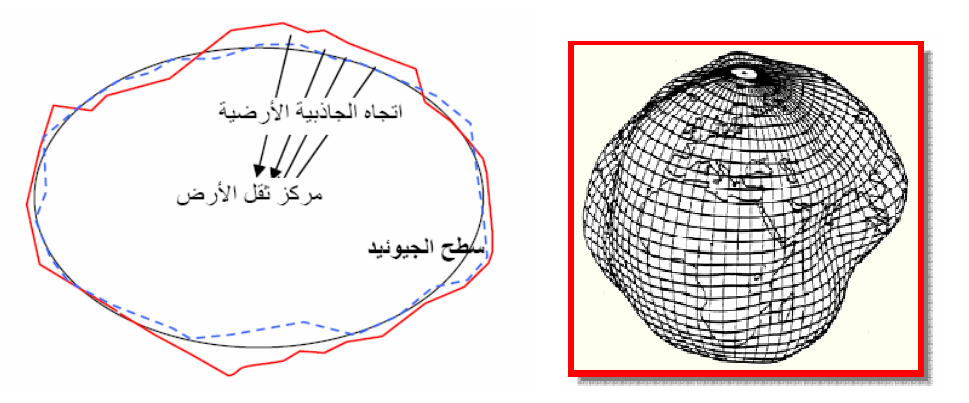
- دوران الأرض حول محورها يولد قوة طرد مركزية centrifugal force تكون عمودية علي محور الدوران.
- وجود انبعاج و نتوءات bulges في شكل الأرض عند دائرة الاستواء و أيضا عند القطبين.
- اختلاف مكونات و كثافة طبقات الأرض من مكان لآخر.

بناءا علي معرفة مجال الجاذبية الأرضية لكوكب الأرض يمكن تحديد الشكل المرجعي reference surface للأرض وهو ما ُأطلق عليه اسم "الجيويد Geoid". فلنتخيل إذا أمسكنا بحبل ووضعنا في نهايته ثقل في الفراغ ودون وجود أية مؤثرات خارجية عليه (مثل الهواء و الرياح) فأن اتجاه الحبل أو الخط الرأسي (ُيسمي خيط الشاغول Plumb Line) سيحدد اتجاه قوة الجاذبية عند هذه النقطة. وللأسباب السابقة فأن اتجاه خيط الشاغول سيتغير من نقطة لآخري علي الأرض، وهذا التغير يسمح لنا بوصف شكل الأرض ذاته من خلال السطوح متساوية الجهد أو السطوح المتزنة equipotential surfaces or level surfaces وهي السطوح التي تكون عمودية علي الخط الرأسي (خيط الشاغول) عند كل نقطة. ومع وجود العديد من الأسطح متساوية الجهد الممكنة فقد تم - افتراضيا - اختيار أحدها ليمثل الشكل الحقيقي للأرض وهو الذي يمكن تحديده من خلال مستوي سطح البحر Mean Sea Level (MSL) وتم إطلاق اسم "الجيويد" علي هذا السطح. ومن ثم فأن الجيويد هو سطح أملس متصل يمكن اعتباره شكلا مرجعيا للأرض، ويمكن الحصول عليه بصورة "تقريبية" من خلال تحديد مستوي سطح البحر (في البحار و المحيطات) بقياسات محطات المد و الجزر Tide-Gauges. لكن تحديد سطح الجيويد المعمور تحت اليابسة يحتاج لأنواع أخري من القياسات ومن أهمها قياس قيم الجاذبية الأرضية بأجهزة الجرافيمتر gravimeters.



شكل (٢-١٣) الجيويد

إن التعرج الشديد في شكل الجيويد لا يسمح بوصفه من خلال معادلات رياضية يمكن استخدامها في الكارتوجرافيا و تطوير الخرائط، فالجيويد ومع أنه الشكل الحقيقي للأرض، إلا أنه شكل نظري غير حقيقي بالغ التعرج Irregular theoretical surface.



شكل (٢-١٤) الأرض و الجيويد غير منتظمي الشكل

ومن ثم فبدأ علماء الجيوديسيا في البحث عن شكل هندسي أو شكل رياضي يمثل الجيويد بدرجة جيدة ويمكن الاعتماد علي معادلاته الرياضية في القياسات الأرضية و إنتاج الخرائط التي تمثل معالم الأرض. وتوصل العلماء الي أن الاليبسويد أو الشكل البيضاوي أو القطع الناقص Ellipsoid هو أقرب الأشكال الهندسية التي تقترب بدرجة كبيرة من شكل الجيويد، ومن ثم يمكن اعتباره السطح المرجعي reference surface للأرض. ولم يكن هذا الاعتقاد حديثا فقد طور العالم الشهير اسحق نيوتن في عام ١٦٧٠م (١٠٨٠ هـ) عدة مبادئ

نظرية علمية وكان أهمها: أن الشكل المتوازن لكتلة مائعة متجانسة خاضعة لقوانين الجذب و تدور حول محورها ليس هو شكل الكرة كاملة الاستدارة لكنه شكل مفلطح قليلا باتجاه القطبين. وفي عام ١٧٣٥م قامت أكاديمية العلوم الفرنسية بتنظيم بعثتين لإجراء القياسات اللازمة للتأكد من هذه الفرضية وأثبتت النتائج فعلا أن الأرض مفلطحة وليست كروية الشكل تماما.

وللتعبير عن شكل الاليبسويد رياضيا يلزمنا معرفة عنصرين (لاحظ أن الكرة يعبر عنها بعنصر واحد فقط هو نصف قطرها):

- نصف المحور الأكبر (المحور في مستوي خط الاستواء) ويرمز له بالرمز a
- نصف المحور الأصغر (المحور بين كلا القطبين) ويرمز له بالرمز b

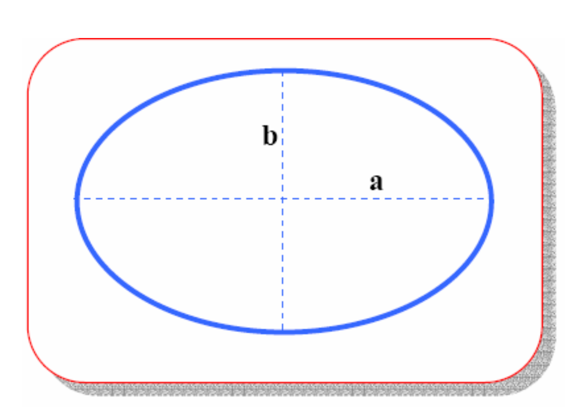
كما يمكن التعبير عن الاليبسويد بطريقة أخري من خلال العنصرين:

- نصف المحور الأكبر (المحور في مستوي خط الاستواء) ويرمز له بالرمز a
- معامل التفلطح flattening ويرمز له بالرمز f ويتم حسابه من المعادلة:

$$f = (a - b) / a \quad \text{or} \quad f = 1 - (b / a) \qquad (2\text{-}1)$$

وتكون معادلة تمثيل الاليبسويد من خلال الإحداثيات الثلاثية الأبعاد x, y, z هي:

$$[(x^2 + y^2) / a^2] + [z^2 / b^2] = 1 \qquad (2\text{-}2)$$

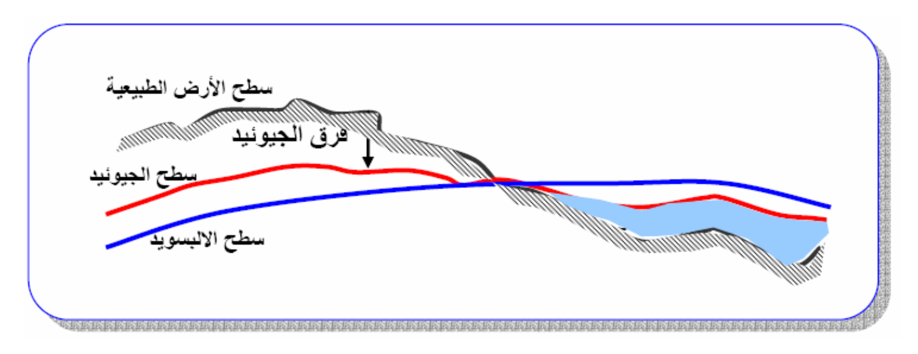


شكل (٢-١٥) الاليبسويد

ويتميز شكل الاليبسويد بعدة خصائص مثل (شكل ٢-١٦):

أ- سهولة إجراء الحسابات علي سطحه (حيث أنه شكل هندسي معروف).

ب- لا يختلف سطح الاليبسويد الرياضي عن سطح الجيويد الفيزيقي كثيرا (أكبر فرق بين كلاهما لا يتعدي ١٠٠ متر فقط. لاحظ أن الفرق بين الجيويد و الكرة يصل إلي ٢١ كيلومتر تقريبا).



شكل (٢-١٦) العلاقة بين الجيويد و الاليبسويد

ويتم حساب عنصري تحديد الاليبسويد (سواء a, b أو a, f) من خلال القياسات المتعددة الأنواع مثل المسافات و الانحرافات والقياسات الفلكية و قياسات الجاذبية الأرضية وحديثا قياسات الأقمار الصناعية ... الخ. وكلما زاد عدد و دقة هذه القياسات كلما نتج لدينا تحديدا أكثر دقة لعناصر تعريف الاليبسويد، ومن ثم فقد أصبح لدينا عدد كبير من تعريفات الاليبسويد علي مر السنين. ويعد المرجع الجيوديسي العالمي لعام ١٩٨٤ World Geodetic System 1984 (المعروف اختصارا باسم WGS84) أحدث و أدق الاليبسويد المستخدم عالميا.

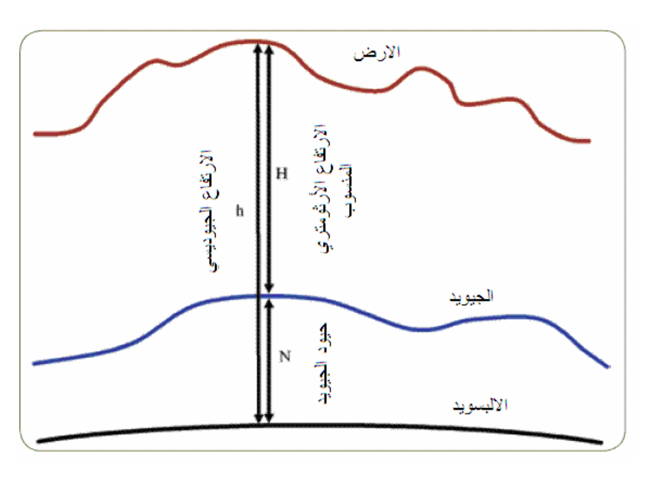
جدول (٢-١) بعض نماذج الاليبسويد المستخدمة عالميا

اسم الاليبسويد	نصف المحور الأكبر (a) بالمتر	نصف المحور الأصغر (b) بالمتر
Helmert 1906	٦٣٧٨٢٠٠	٦٢٥٦٨١٨
Clarke 1866	٦٣٧٨٢٧٤	٦٣٥٦٦٥١
Bassel 1841	٦٣٧٧٣٩٧	٦٣٥٦٠٧٩
Airy 1830	٦٣٧٧٥٦٣	٦٣٥٦٢٥٧
WGS72	٦٣٧٨١٣٥	٦٣٥٦٧٥٠
WGS84	٦٣٧٨١٣٧	٦٣٥٦٧٥٢

إلا أن المشكلة الكارتوجرافية ما زالت قائمة وهي أن الجيويد ومع أنه هو الشكل الحقيقي للأرض - والذي نقوم بإجراء القياسات الأرضية عليه - فلا يمكن وصفه أو تمثيله رياضيا، بينما الاليبسويد المحدد رياضيا (المستخدم في حسابات الإحداثيات وتحديد المواقع) هو مجرد تقريب للجيويد وليس الجيويد ذاته. وهذه المشكلة تمثل أحد أهداف علم الجيوديسيا، فإذا استطعنا قياس ارتفاع أي نقطة عن سطح هذا الاليبسويد (ويسمي الارتفاع الاليبسويدي Ellipsoidal Height أو الارتفاع الجيوديسي Geodetic Height ولنرمز له بالرمز h) وأيضا استطعنا قياس ارتفاع نفس النقطة عن منسوب متوسط سطح البحر MSL والذي يمثل شكل الجيويد (ويسمي الارتفاع الأرثومتري Orthometric Height ولنرمز له بالرمز H) فأن الفرق بين سطح الاليبسويد و سطح الجيويد هو الفرق بين هذين الارتفاعين عند هذه النقطة (ويسمي حيود الجيويد Geoid Undulation أو ارتفاع الجيويد Geoidal Height ولنرمز له بالرمز N) كما في شكل ٢-١٧. أي أن:

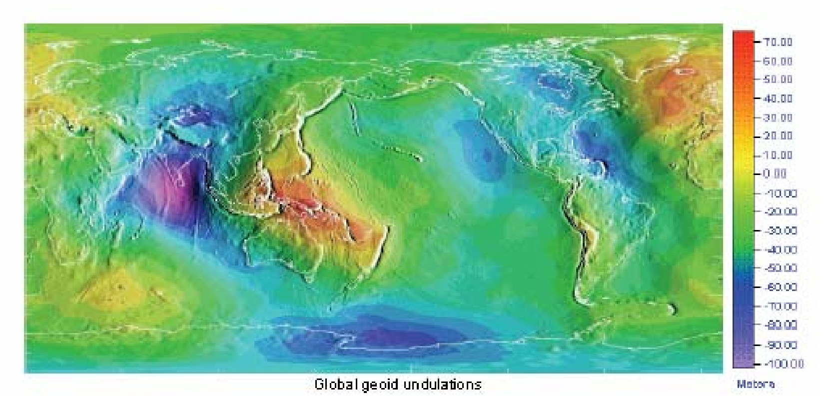


$$N = h - H \qquad (2\text{-}3)$$

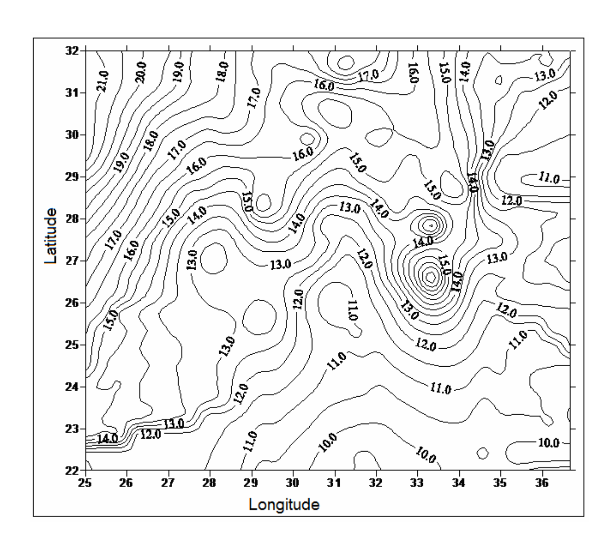


شكل (٢-١٧) الفرق بين الجيويد و الاليبسويد

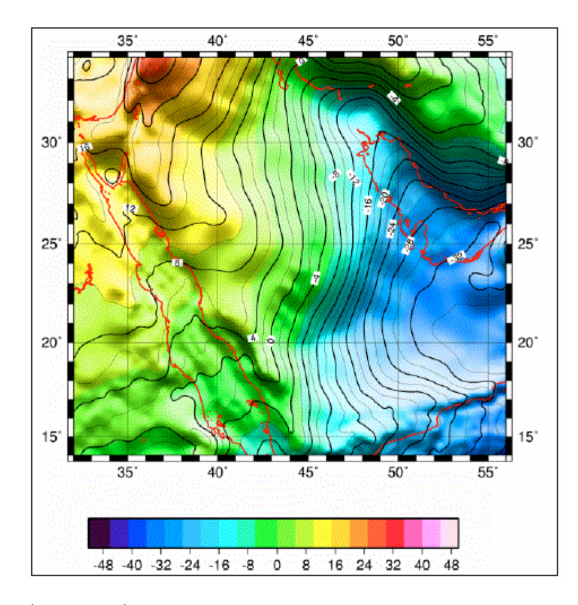
ويقوم متخصصي الجيوديسيا بعمل هذه القياسات (بعدة طرق و تقنيات و أجهزة) وتحديد الفروق بين سطحي الجيويد و الاليبسويد عند عدد كبير جدا من النقاط الموزعة علي سطح الأرض، ومن ثم إنتاج ما يعرف باسم نماذج الجيويد Geoid Models.



شكل (٢-١٨) نموذج لسطح الجيويد علي المستوى العالمي



شكل (٢-١٩) نموذج لسطح الجيويد في جمهورية مصر العربية



شكل (٢-٢٠) نموذج لسطح الجيويد في المملكة العربية السعودية

٢-٤ النظم المرجعية و المراجع:

النظام المرجعي Reference System هو مجموعة من القياسات و القواعد المستخدمة في تحديد مواقع النقاط الأرضية بناءا علي نظام إحداثيات محدد. فبعد تحديد الشكل الفيزيقي الحقيقي للأرض (الجيويد) والشكل الهندسي الممثل له (الاليبسويد) يتبقي تحديد كيفية تمثيل الإحداثيات ثنائية الأبعاد علي الخريطة. ولتحديد نظام مرجعي يلزمنا اختيار اليبسويد معين وهل سيكون اليبسويد مركزي عالمي Global or Geocentric أم سيكون اليبسويد له توجيه معين محلي Local Orientation.

كانت كل دولة عند بدء إقامة الهيكل الجيوديسي أو المساحي لها بغرض البدء في إنتاج الخرائط غالبا ما تختار أحدث اليبسويد – في ذلك الوقت – لتتخذه السطح المرجعي لنظام خرائطها. فإذا ظهر بعد عدة سنوات اليبسويد آخر لم يكن ممكنا – لأسباب تقنية و مادية – أن تقوم هذه الدولة بتغيير السطح المرجعي لها و إعادة إنتاج و طباعة كل خرائطها من جديد. لكن ما هو المرجع؟ من المعروف أن أي اليبسويد يكون أقرب ما يمكن لتمثيل سطح الأرض علي المستوي العالمي ، أي أن الفروق بينه وبين الجيويد تختلف من مكان لمكان علي سطح الأرض لكنها أقل ما يمكن علي المستوي العالمي. لكن كل دولة عندما تعتمد اليبسويد معين تريد أن يكون الفرق بينه و بين الجيويد أقل ما يمكن في حدودها ولا تهتم إن كانت هذه الفروق كبيرة في مناطق أخري من العالم. لذلك كانت كل دولة تلجأ لتعديل وضع الاليبسويد المرجعي قليلا Re-Position لكي يحقق هذا الهدف. وفي هذه الحالة – أي بعد إجراء هذا التعديل البسيط – فلم يعد هذا الاليبسويد كما كان في الأصل لكنه صار في وضع مختلف، وهنا نطلق عليه اسم مرجع أو مرجع جيوديسي أو مرجع وطني أو بيان A geodetic Datum, a local datum, or simply a datum. أي أن المرجع الوطني لأي دولة ما هو إلا اليبسويد عالمي قد تم تعديل وضعه بصورة أو بآخري ليناسب هذه الدولة ويكون أقرب تمثيلا لشكل الجيويد (الشكل الحقيقي للأرض) عند هذه الدولة. كما يجب الإشارة إلي أنه كلما قلت الفروق بين المرجع الوطني لدولة ما و الجيويد كلما زادت دقة الخرائط المرسومة اعتمادا علي هذا المرجع. ولتوضيح هذه النقطة الهامة أكثر سنأخذ مثال لجمهورية مصر العربية. عند بدء أعمال الجيوديسيا و إنشاء الخرائط في مصر في بداية القرن العشرين كان أحدث اليبسويد متاح في ذلك الوقت هو اليبسويد هلمرت ١٩٠٦. تم اتخاذ القرار باختيار هذا الاليبسويد ليكون سطحا مرجعيا لمصر. وبعد ذلك تم إجراء عدد من التعديلات علي وضع هذا الاليبسويد ليتكون ما يعرف باسم المرجع الوطني المصري ١٩٠٧ Old Egyptian Datum أو اختصارا OED1970. أحد هذه التعديلات كان الفرض بأن الارتفاع عن سطح الاليبسويد = الارتفاع

عن متوسط سطح البحر عند النقطة الأساسية المسماة F1 أو نقطة الزهراء بجبل المقطم. هذا الفرض يعني أننا افترضنا أن سطح اليبسويد هلمرت ١٩٠٦ ينطبق مع سطح الجيويد عند هذه النقطة (هذا غير حقيقي لكنه فرض أساسي لتسهيل بدء الحسابات الجيوديسية لشبكات الثوابت الأرضية المساحية). وبمعني آخر أننا قمنا برفع سطح اليبسويد هلمرت ١٩٠٦ عدة أمتار لينطبق مع سطح الجيويد عند هذه النقطة المحددة ، وبالتالي لم يعد هلمرت ١٩٠٦ هو ذلك الاليبسويد العالمي الذي تم تحديد شكله و حجمه ووضعه ليكون أقرب ما يمكن لتمثيل شكل الأرض علي المستوي العالمي ، إنما صار له وضع جديد يناسب المنطقة الجغرافية لجمهورية مصر العربية فقط. هنا لا نقول أنه اليبسويد أنما نطلق عليه اسم المرجع المصري. أما المملكة العربية السعودية فقد اعتمدت الاليبسويد العالمي لعام ١٩٢٤ International Ellipsoid 1924 (حيث نصف المحور الأكبر = ٦٣٧٨٣٨٨ متر و التفلطح 1/f = ٢٩٧) كسطح مرجعي، وبناءا علي تعديله فقد تحول الي مرجعها الجيوديسي الوطني المسمي عين العبد ١٩٧٠ Ain Al-Abd 1970. كما يجب الإشارة في هذا السياق إلي وجود مراجع وطنية عديدة لدول مختلفة كلها تعتمد علي نفس الاليبسويد العالمي، لكن كل مرجع منهم يعدل وضع هذا الاليبسويد بصورة مختلفة، فكمثال فان المراجع الوطنية لكلا من السودان و تونس و المغرب و الجزائر و الإمارات و عمان تعتمد جميعها علي اليبسويد Clarke 1880 لكن كل مرجع له وضع مختلف.

٢-٥ نظم الإحداثيات:

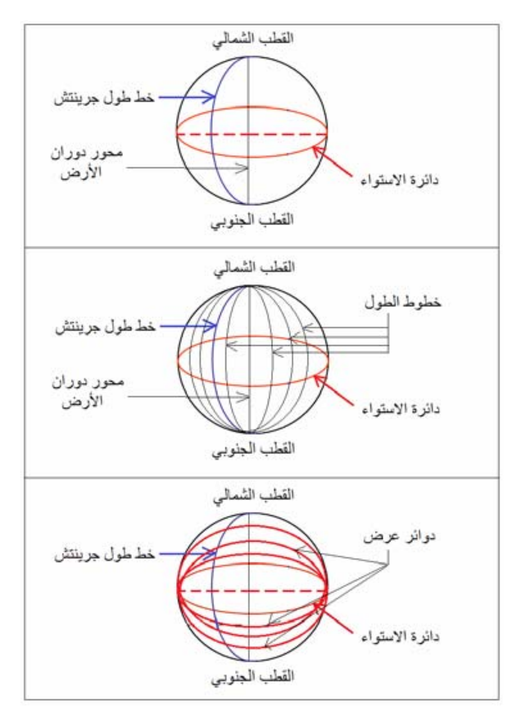
الإحداثيات Coordinates هي القيم التي بواسطتها نعبر عن موقع معين علي سطح الأرض أو علي الخريطة. وتتعدد أنظمة الإحداثيات تبعا لاختلاف السطح المرجعي الذي يتم تمثيل المواقع عليه. فعند اختيار المستوي كسطح مرجعي (مثل الخريطة) فأن الإحداثيات تكون إحداثيات مستوية أو مسقطة أو ثنائية الأبعاد Two-Dimensional (or 2D) Coordinates. ويرجع اسم ثنائية الأبعاد إلي أن كل نقطة – علي الخريطة مثلا – يلزمها قيمتين لتحديد موقعها وليكن مثلا س ، ص. بينما عند اعتماد الكرة أو الاليبسويد كسطح مرجعي فأننا نتعامل مع نوع الإحداثيات الفراغية أو الإحداثيات ثلاثية الأبعاد Three-Dimensional (or 3D) Coordinates حيث يجب إضافة ارتفاع النقطة عن سطح المرجع كبعد ثالث لتحديد موقعها الدقيق ، أي نحتاج لمعرفة القيم الثلاثة س ، ص ، ع لكل موقع. وفي حالة الكرة تسمي الإحداثيات باسم الإحداثيات الكروية Spherical Coordinates بينما في حالة الاليبسويد تسمي بالإحداثيات الجيوديسية Geodetic

Coordinates أو الإحداثيات الجغرافية Geographic Coordinates أو الإحداثيات الاليبسويدية Ellipsoidal Coordinates. كما توجد إحداثيات أحادية البعد One-Dimensional (or 1D) Coordinates وهي غالبا التي تعبر فقط عن ارتفاع النقطة من سطح الشكل المرجعي المستخدم. وفي التطبيقات الجيوديسية و الجيوفيزيقية عالية الدقة توجد إحداثيات رباعية الأبعاد Four-Dimensional (or 4D) Coordinates حيث يتم تحديد موقع النقطة في زمن محدد بحيث تكون إحداثياتها هي س ، ص ، ع ، ن حيث البعد الرابع "ن" يعبر عن زمن قياس هذه الإحداثيات لهذا الموقع. وسنستعرض بعض أنظمة الإحداثيات بالتفصيل في الأجزاء التالية.

منذ قرون مضت أبتكر العلماء طريقة لتمثيل موقع أي نقطة علي سطح الأرض (باعتبار أن الأرض كرة) وذلك عن طريق:

- تم اتخاذ الخط الأساسي الأفقي هو تلك الدائرة العظمي (أي التي تمر بمركز الأرض) والتي تقع في منتصف المسافة بين القطبين وسميت بدائرة الاستواء.
- أتخذ الخط الأساسي الرأسي ليكون هو نصف الدائرة التي تصل بين القطبين الشمالي و الجنوبي وتمر ببلدة جرينتش بانجلترا (شكل ٢-٢١ أ).
- قسمت دائرة الاستواء إلي ٣٦٠ قسما متساويا و رسم علي سطح الأرض ٣٦٠ نصف دائرة (وهمية أو اصطلاحية) تصل بين القطبين وتمر بأحدي نقاط التقسيم علي دائرة الاستواء ، وكل نصف دائرة تسمي خط طول Longitude. ويتضح من ذلك أن الزاوية عند مركز الأرض بين نقطتي تقسيم متجاورتين تساوي ١ درجة (يرمز للدرجة بالرمز ١°) لان ٣٦٠ درجة تقابل ٣٦٠ قسما. وتم ترقيم خط طول جرينتش بالرقم صفر وخط الطول المجاور له من جهة الشرق ١° شرق ، ثم ٢° شرق ، .... إلي ١٨٠° شرق وبنفس الطريقة للخطوط الواقعة غرب جرينتش من ١° غرب ، إلي ١٨٠° غرب. وتكون زاوية خط الطول (شكل ٢- ٢١ ب) هي الزاوية الواقعة في مستوي دائرة الاستواء والمحصورة بين ضلعين يمر أحدهما بخط طول جرينتش بينما يمر الآخر بخط طول النقطة ذاتها.
- تم تقسيم خط الطول الأساسي (جرينتش) إلي ١٨٠ قسما متساويا ورسم علي الأرض دوائر صغري وهمية (الدائرة الصغرى هي التي لا تمر بمركز الأرض) توازي دائرة الاستواء وتمر كل دائرة منها بأحدي نقاط تقسيم خط طول جرينتش. وبذلك تكون الزاوية عند مركز الأرض بين نقطتين متجاورتين من نقاط التقسيم تساوي ١° لان

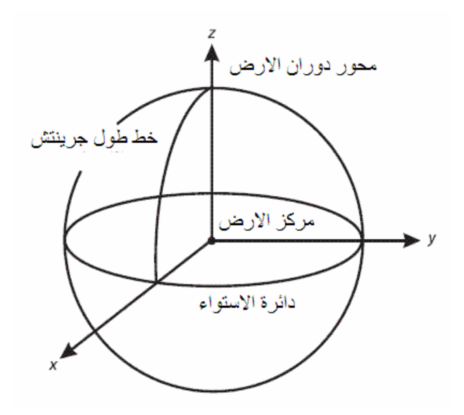
١٨٠ درجة تقابل ١٨٠ قسما ، وأطلق علي هذه الدوائر اسم دوائر العرض ومنهم ٩٠ دائرة شمال دائرة الاستواء و ٩٠ دائرة جنوبه. وبنفس الأسلوب تم ترقيم دائرة الاستواء بالرقم صفر ودائرة العرض المجاور لها من جهة الشمال ١° شمال ، ثم ٢° شمال ، .... إلي ٩٠° شمال وبنفس الطريقة للدوائر الواقعة جنوب دائرة الاستواء من ١° جنوب ، إلي ٩٠° جنوب. زاوية العرض Latitude هي الزاوية الواقعة في مستوي دائرة من دوائر الطول و رأسها عند مركز الدائرة و ضلعها الأساسي يمر في مستوي الاستواء و الضلع الآخر يمر في دائرة من دوائر العرض (شكل ٢-٢١ ج).



شكل (٢-٢١) تحديد المواقع علي الكرة

٢-٥-١ الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية:

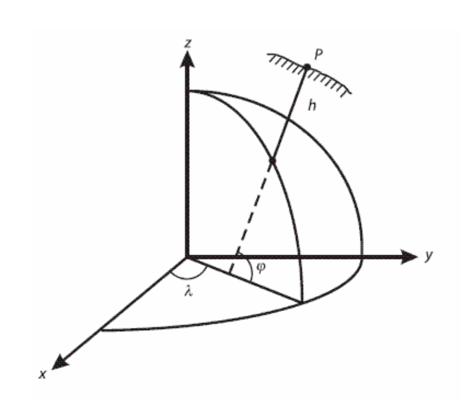
نظام الإحداثيات الجيوديسية هو أحد نظم الإحداثيات الذي مركزه هو مركز الأرض ومحاوره مثبته مع الأرض أثناء دورانها ولذلك يطلق عليه نظام مركزي أرضي ثابت Earth-Centered Earth-Fixed أو اختصارا ECEF. مركز النظام يقع في مركز جاذبية الأرض، وينطبق محوره الرأسي z مع محور دوران الأرض ، يتجه محوره الأفقي الأول x ناحية خط طول جرينتش بينما محوره الأفقي الثاني y يكون عموديا علي محور x (شكل ٢-٢٢).

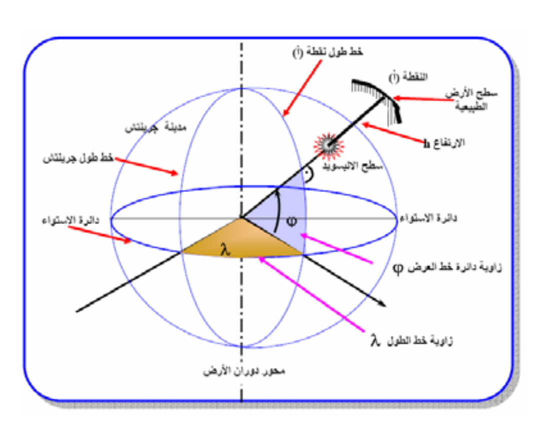


شكل (٢-٢٢) نظام الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية

يتم تمثيل موقع أي نقطة في هذا النظام بثلاثة قيم أو ثلاثة إحداثيات ، أي أن هذا النظام ثلاثي الأبعاد 3D (شكل ٢-٢٣) :

- خط الطول Longitude ويرمز له بالرمز اللاتيني λ (ينطق لامدا) ، وهو الزاوية المقاسة في مستوي دائرة الاستواء بين خط طول جرينتش (وهو خط الطول الذي أصطلح دوليا أن يكون رقم صفر) و خط طول النقطة المطلوبة.
- دائرة العرض Latitude ويرمز له بالرمز اللاتيني ϕ (ينطق فاي) ، وهي الزاوية في المستوي الرأسي والتي يصنعها الاتجاه العمودي المار بالنقطة المطلوبة مع مستوي دائرة الاستواء (يلاحظ في الشكل أن الاتجاه العمودي علي سطح الاليبسويد لا يمر بمركز الاليبسويد عكس حالة الكرة حيث يمر العمودي علي سطح الكرة بمركزها).
- الارتفاع عن سطح الاليبسويد ويرمز له بالرمز h ويسمي الارتفاع الجيوديسي أو الارتفاع الاليبسويدي Geodetic or Ellipsoidal Height





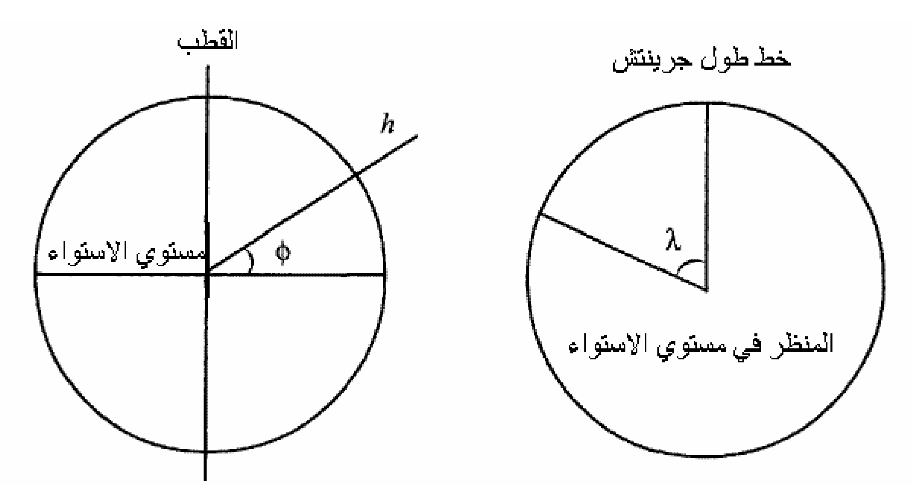
شكل (٢-٢٣) الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية

وتوجد عدة نظم للوحدات المستخدمة في التعبير عن خطوط الطول و دوائر العرض أشهرها نظام الوحدات الستيني ، وفيه يتم تقسم الدائرة الكاملة إلي ٣٦٠ درجة (رمز الدرجة هو ^{o}) ثم تقسم الدرجة إلي ٦٠ جزء كلا منهم يسمي الدقيقة (رمز الدقيقة هو ') ثم لاحقا تقسم الدقيقة الواحدة إلي ٦٠ جزء يسمي الواحد منهم بالثانية (رمز الثانية هو "). كمثال: خط الطول "30^{o} 45' 52.3 يعني أن موقع هذه النقطة عند ٣٠ درجة و ٤٥ دقيقة و ٥٢.٣ ثانية.

وتكون خطوط الطول أما شرق خط طول جرينتش (يرمز لها بإضافة حرف ق أو E) أو غرب جرينتش (يرمز لها بإضافة حرف غ أو W). أما بالنسبة لدوائر العرض فتكون أما شمال دائرة الاستواء (يرمز لها بإضافة حرف ش أو N) أو جنوب خط الاستواء (يرمز لها بإضافة حرف ج أو S).

٢-٥-٢ الإحداثيات الكروية:

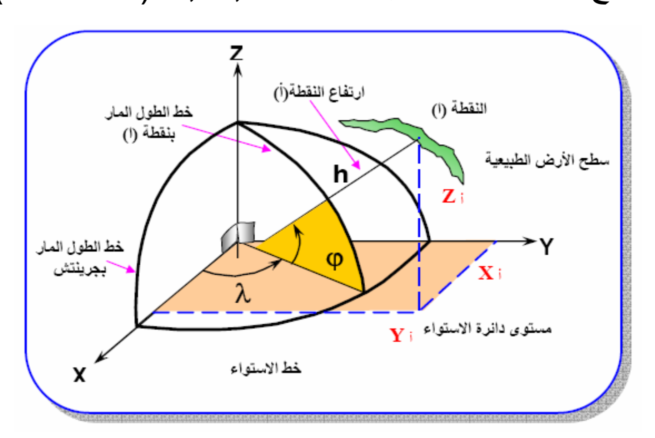
يشبه نظام الإحداثيات الكروية Spherical Coordinates نظام الإحداثيات الجيوديسية أو الجغرافية ألا في اختلاف واحد فقط ألا وهو أن السطح المرجعي هنا هو الكرة و ليس الاليبسويد (شكل ٢-٢٤). يلاحظ في الشكل (خاصة لقياس دائرة العرض ϕ) أن الاتجاه العمودي علي سطح الكرة يمر بمركزها عكس حالة الاليبسويد حيث لا يمر العمودي علي سطح الاليبسويد بمركزه.



شكل (٢-٢٤) الإحداثيات الكروية

٢-٥-٣ الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية أو الفراغية أو الديكارتية:

هو نظام إحداثيات مشابه تماما في تعريفه لنظام الإحداثيات الجيوديسية ألا أنه يتميز أن إحداثياته الثلاثة تكون طولية (أي بالمتر أو الكيلومتر) و ليس منحنية (بالدرجات) مما يجعله أسهل في التعامل وخاصة في الحسابات ، وقد أبتكره العالم الفرنسي ديكارت في القرن السابع عشر. نقطة الأصل لنظام الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية Cartesian Geodetic Coordinates هي مركز الأرض ومحوره الأول X ينشأ من تقاطع مستوي خط الطول المار بجرينتش مع مستوي دائرة الاستواء ومحوره الثاني Y هو العمودي علي محور X بينما المحور الثالث (الرأسي) Z هو محور دوران الأرض و الذي يمر بمركز الأرض وكلا القطبين. ويعبر عن موقع كل نقطة بثلاثة إحداثيات: X, Y, Z (شكل ٢-٢٥).



شكل (٢-٢٥) الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية

٢-٥-٤ التحويل بين نظم الإحداثيات:

يمكن باستخدام مجموعة المعادلات التالية تحويل الإحداثيات الجيوديسية أو الجغرافية (ϕ, λ, h) إلي الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية (X, Y, Z):

$$X = (c + h) \cos \phi \cos \lambda$$
$$Y = (c + h) \cos \phi \sin \lambda \qquad (2\text{-}4)$$
$$Z = [\, h + c\,(1\text{-}e^2) \,] \sin \phi$$

حيث c يسمي نصف قطر التكور radius of curvature ، e تسمي المركزية الأولي first eccentricity ويتم حسابهما كالتالي:

$$c = \frac{a}{\sqrt{(1 - e^2 \sin^2 \phi)}} \quad (2\text{-}5)$$

$$e = [\sqrt{(a^2 - b^2)}] / a \quad (2\text{-}6)$$

أما للتحويل من الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية (X, Y, Z) إلي الإحداثيات الجيوديسية أو الجغرافية (ϕ, λ, h) فأحد الحلول يتمثل في المعادلات التالية:

$$\tan \lambda = Y / X$$

$$\tan \phi = \frac{Z / \sqrt{(X^2 + Y^2)}}{1 - e^2 (c / (c + h))} \quad (2\text{-}7)$$

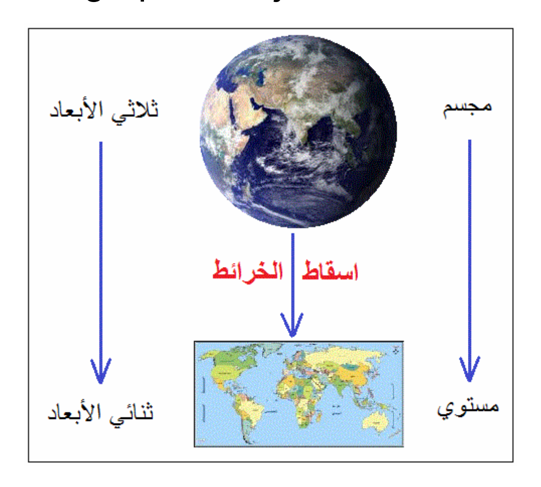
$$h = \frac{\sqrt{(X^2+Y^2)}}{\cos \phi} - c$$

ونلاحظ في هذه المعادلات أننا نحتاج لمعرفة قيمة c لكي نستطيع حساب قيمة ϕ و h ، لكن لنحسب قيمة c من المعادلة ٢-٥ فأننا نحتاج لمعرفة قيمة ϕ ! ولذلك يتم حساب هذا النوع من التحويل بطريقة تكرارية Iterative ، حيث نبدأ باستخدام قيمة تقريبية لدائرة العرض ϕ ونحسب قيمة تقريبية لنصف قطر التكور c ثم نأخذ قيمة c هذه لنحسب منها قيمة جديدة ϕ وهكذا لعدد من المرات إلي أن نجد عدم وجود أي فرق جوهري Significant بين قيمتين متتاليتين لدائرة العرض ϕ.

٢-٦ إسقاط الخرائط:

إن الأرض عبارة عن جسم شبه كروي يحتاج لثلاثة أبعاد أو قيم أو إحداثيات للتحديد الدقيق لموقع أي نقطة علي هذا المجسم، بينما نجد علي الجانب الآخر أن الخريطة عبارة عن سطح مستوي ولا يحتاج إلا لبعدين أو إحداثيين فقط لتحديد موقع أي نقطة عليها. والسؤال الذي يتبادر للأذهان هو: كيف يمكن تمثيل هذه الكرة أو هذا الشكل البيضاوي (الأرض) علي سطح

مستوي (الخريطة) لتكون الخريطة تمثيلا دقيقا مصغرا لسطح الأرض و معالمها؟ وكيف يمكن تحويل الإحداثيات الثلاثية لأي نقطة علي الأرض الي إحداثيات ثنائية علي الخريطة؟ تكمن إجابة هذا السؤال في "إسقاط الخرائط Map or Cartographic Projection".



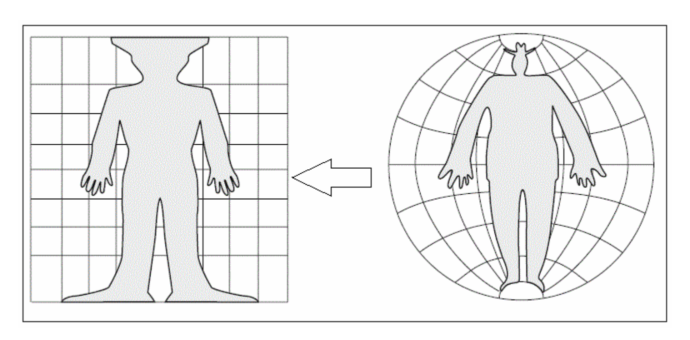
شكل (٢-٢٦) إسقاط الخرائط

ولا يعد علم إسقاط الخرائط علما حديثا، فقد وجدت مؤلفات للعالم الإغريقي الشهير بطليموس (في القرن الثاني قبل الميلاد) تشرح طريقة أو فكرة لكيفية رسم الكرة السماوية علي سطح مستوي. أما العالم الهولندي الشهير جيرار ميريكاتور فيعد أول من تحرر من طريقة بطليموس و سلك طريقا جديدا في رسم الخرائط (في عام ١٥٥٤م/ ٩٦٠ هـ) باستخدام المخروط وقام بإنشاء طريقة جديدة لإسقاط الخرائط أسماها باسمه ومازالت مستخدمة حتى الآن. وفي القرن الثامن عشر الميلادي ظهرت عدة طرق جديدة من طرق الإسقاط مثل طريقة العالم الألماني لامبرت.

إن إسقاط الخرائط عبارة عن طرق و معادلات رياضية تهدف الي تحويل إحداثيات المواقع الحقيقية الموجودة علي سطح الأرض الي إحداثيات مناظرة لها علي الخريطة بهدف إعداد الخريطة لتمثل الواقع الحقيقي بكل دقة وان كان بصورة مصغرة. وأولي الصعوبات التي تواجه طرق إسقاط الخرائط أنه لا يمكن تمثيل (رسم) الشكل المجسم الحقيقي للأرض علي سطح مستوي بصورة تامة التماثل. فلكي يكون التماثل تاما (١٠٠%) يجب أن تتحقق ثلاثة شروط هندسية وهي:

(١) تمثل المسافات علي الخريطة ما يقابلها علي الطبيعة تماما.
(٢) تمثل المساحات علي الخريطة ما يقابلها علي الطبيعة تماما.
(٣) تمثل الاتجاهات علي الخريطة ما يقابلها علي الطبيعة تماما.

ولا توجد أيه طريقة رياضية تحقق هذه الشروط الثلاثة معا، ومن ثم فأن هناك عشرات من مساقط الخرائط (طرق إسقاط الخرائط) و لكلا منها مميزات و استخدامات محددة، والشكل الناتج علي الخريطة من تطبيق طريقة الإسقاط يسمي "مسقط". وبصفة عامة فلا توجد طريقة إسقاط إلا و بها "تشوه"، أي جزء بسيط من عدم التطابق أو عدم التماثل بين ما هو علي الخريطة و ما هو علي الطبيعة.



شكل (٢-٢٧) مفهوم التشوه في إسقاط الخرائط

وتجدر الإشارة الي أن الخرائط كبيرة المقياس جدا (المخططات التي تمثل أجزاء صغيرة جدا من سطح الأرض مثل مشروع هندسي أو جزء من حي داخل مدينة) لا تحتاج لإسقاط الخرائط حيث أننا نفترض أن هذا الجزء الصغير جدا من الأرض هو سطح مستوي ولن يكون لكروية الأرض أي تأثير به، ومن ثم يمكننا رسم القياسات الميدانية مباشرة علي هذه المخططات.

٢-٦-١ أنواع مساقط الخرائط

فلنتخيل أن هناك مصدر ضوئي مشع موجود في مكان ما علي سطح الأرض وأن هناك لوحة مستوية (أي الخريطة) موجودة بحيث أن مصدر الضوء هذا سيلقي ظلالا للمعالم الجغرافية علي هذه اللوحة المستوية، وهذه الظلال هي ما سيتم رسمه علي الخريطة. طبقا لموضع المصدر الضوئي (هل هو عند أحد قطبي الأرض أم عند دائرة الاستواء أم في مكان آخر) فستكون لدينا نماذج مختلفة لما سيظهر علي اللوحة المستوية، أي سيكون لدينا عدد من المساقط. أيضا إذا تغير موضع اللوحة المستوية ذاتها (هل هي عند القطبين أم عند دائرة الاستواء .... الخ) سينتج أنواع أخري من مساقط الخرائط. والآن نتخيل أننا بدلا مكن أن نضع اللوحة المستوية بشكلها كما هي سنقوم بلفها كاسطوانة حول سطح الأرض، أو بلفها كمخروط حول الأرض، وبالتالي سيكون لدينا أنواع أخري من طرق تمثيل معالم سطح الأرض علي هذه

اللوحة في وضعها الجديد. وبناءا علي ذلك فتوجد عشرات من أنواع و طرق إسقاط الخرائط، وأيضا توجد عده تقسيمات أو عدة تصنيفات لهذه الأنواع المختلفة.

(أ) التقسيم المعتمد علي شكل لوحة الإسقاط:

- مساقط مستوية (أو اتجاهية) Zenithal or Stereographic
- مساقط اسطوانية Cylindrical
- مساقط مخروطية Conical

(ب) التقسيم المعتمد علي وضع لوحة الإسقاط:

كلما تغير وضع لوحة الإسقاط (سواء كانت مستوية أم اسطوانة أم مخروط فهل ستكون عمودية أم أفقية أم مائلة علي سطح الأرض) كلما نتج أنواع مختلفة من المساقط:

- مساقط عادية Normal حيث لا يكون سطح الإسقاط مائلا علي سطح الأرض.
- مساقط مستعرضة Transverse حيث يكون سطح الإسقاط مائلا بزاوية ٩٠ درجة علي سطح الأرض.
- مساقط مائلة Oblique حيث يكون سطح الإسقاط مائلا بأي زاوية علي سطح الأرض.

(ج) التقسيم المعتمد علي الخصائص الهندسية للمسقط:

لا يوجد إسقاط يمكنه المحافظة علي التطابق التام بين كل الخصائص الهندسية للمعالم الجغرافية الموجودة علي سطح الأرض وما يقابلها علي الخريطة، وفي هذا الصدد توجد عدة أنواع من المساقط:

- مساقط تحافظ علي الاتجاهات و الأشكال Conformal وتسمي أيضا بالمساقط التشابهية حيث أن الزوايا ستظهر بحقيقتها تماما (أي ستظهر شبكة الإحداثيات الجغرافية - من دوائر عرض و خطوط طول - متعامدة علي الخريطة)
- مساقط تحافظ علي المساحات Equal-Area وتسمي أيضا بالمساقط التكافؤية.
- مساقط تحافظ علي المسافات Equal-Distance

(د) التقسيم المعتمد علي وضع مصدر الضوء:

بناءا علي موضع مصدر الضوء الذي سيسقط علي الأرض ليتم تمثيلها علي الخريطة فتوجد عدة أنواع من المساقط:

- مساقط مركزية Centrographic حيث يكون مصدر الضوء في مركز الأرض.
- مساقط سطحية Stereographic حيث يكون مصدر الضوء علي سطح الأرض.

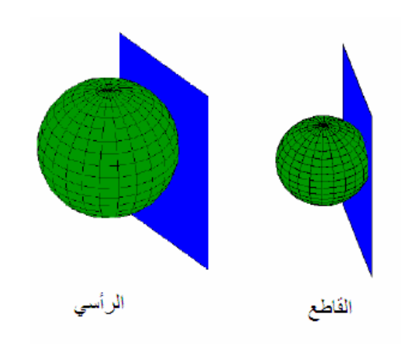
- مساقط خارجية Scenographic حيث يكون مصدر الضوء خارج الأرض.
- مساقط عمودية Orthographic حيث يكون مصدر الضوء علي مسافة بعيدة جدا (تقريبا ما لا نهاية) من الأرض مما يجعل الِأشعة الساقطة علي الأرض متوازية وعمودية علي سطح الأرض.

<u>(ذ) التقسيم المعتمد علي المنطقة الجغرافية علي المسقط:</u>

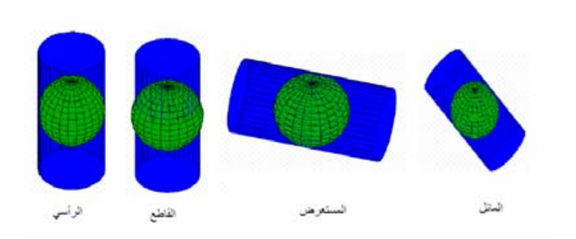
بناءا علي المنطقة التي سيتم تمثيلها علي المسقط (أي الخريطة) توجد عدة أنواع من المساقط:

- مساقط خاصة برسم العالم.
- مساقط خاصة برسم نصف الكرة الأرضية.
- مساقط خاصة برسم قارة أو إقليم.

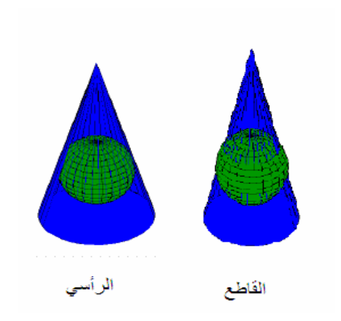
وغالبا فأن أي طريقة إسقاط تحمل خاصيتين من الخصائص السابقة ويكون اسم الطريقة معبرا عن مواصفاتها، فنقول مثلا المسقط المخروطي متساوي المساحات (أي أن اللوحة عبارة عن مخروط والمسقط الناتج يحافظ علي التطابق والتماثل التام في المساحات) ومثلا المسقط الاتجاهي متساوي المسافات (أي أن لوحة الإسقاط عبارة عن مستوي والمسقط الناتج يحافظ علي التطابق التام في المسافات). وبعض المساقط يجمل اسم العالم الذي قام بابتكار طريقة الإسقاط هذه، كأن نقول مسقط ميريكاتور نسبة للعالم الشهير ميريكاتور.



(أ) طرق الإسقاط المستوية أو الاتجاهية

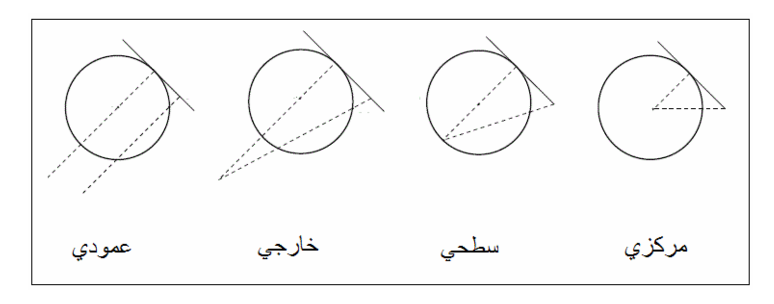


(ب) طرق الإسقاط الاسطواني



(ج) طرق الإسقاط المخروطي

شكل (٢-٢٨) طرق الإسقاط بناءا علي شكل اللوحة



شكل (٢-٢٩) طرق الإسقاط بناءا علي موضع مصدر الضوء

٢-٦-٢ اختيار مسقط لخريطة

لوجود أنواع عدة من مساقط الخريطة فأن اختيار المسقط المناسب لخريطة معينة يجب أن يتم بدقة و عناية حتى تفي الخريطة الناتجة بالأهداف و الخصائص المطلوبة. ومن ثم يجب علي الكارتوجرافي أن يلم بمواصفات المساقط و كيفية المفاضلة و الاختبار بينهم. وللمفاضلة بين أنواع المساقط طبقا لنوع لوحة (أو سطح) الإسقاط فأن المساقط الاسطوانية تكون أكثر ملائمة للمناطق الاستوائية بينما تكون المساقط المخروطية أكثر مناسبة للمناطق الواقعة بين الاستواء و القطب، أما للمناطق القطبية فأن المساقط الاتجاهية تكون هي الأمثل.

كما يعتمد اختيار المسقط الملائم علي الغرض الذي من أجله سيتم إنشاء الخريطة، فخرائط التوزيعات ذات مقاييس الرسم الصغيرة (أي تغطي مساحات كبيرة من سطح الأرض) يجب أن تمثل علي مساقط متساوية المساحات. أما إن كان الهدف من الخريطة هو قياس الاتجاهات و الزوايا (مثل الخرائط الملاحية) فيجب أن يكون مسقطها من النوع الذي ينتج عنه تطابق و تماثل تام في الاتجاهات، وأيضا تستخدم المساقط الاتجاهية متساوية المسافات للخرائط التي سيتم الاعتماد عليها في قياس المسافات علي سطح الأرض. أما الخرائط الأطلسية التي تعني بإبراز الشكل المجسم للأرض وتختص بدراسة الأرض ككل فأن المسقط المستوي أو الاتجاهي يكون هو الأفضل لها.

أيضا يلعب شكل المنطقة الجغرافية المطلوب إسقاطها دورا مهما في تحديد طريقة الإسقاط المناسبة، فكمثال نختار طريقة إسقاط مستوية إذا كانت شكل المنطقة شبه دائري و طريقة إسقاط اسطوانية للمناطق شبه المستطيلة و طريقة إسقاط مخروطية للمناطق شبه المثلثيه.

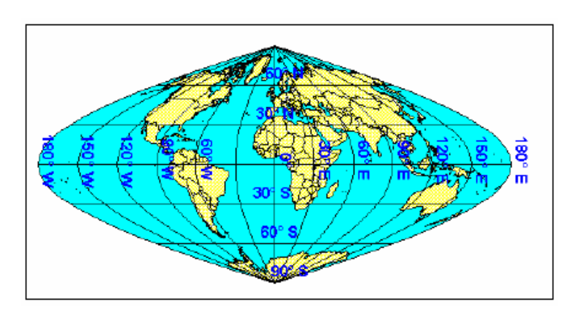
٢-٦-٣ بعض أنواع مساقط الخرائط:

في الجزء التالي سنستعرض وبصورة مبسطة غير تفصيلية بعضا من نماذج مساقط الخرائط الشهيرة:

<u>مسقط ساينسويدال متساوي المساحات Sinusoidal Equal-Area Projection :</u>

هو مسقط يحافظ علي المساحات (تطابق تام بين المساحة علي الخريطة و المساحة المناظرة علي الأرض)، وفيه تتعامد دوائر العرض علي خط الطول المركزي فقط (خط الطول

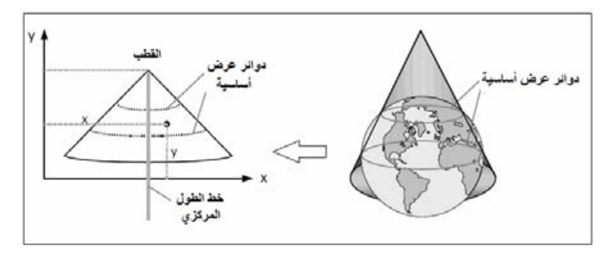
الذي يحدث عنده تماس بين لوحة الإسقاط و الأرض)، بينما مع باقي خطوط الطول فأن دوائر العرض تكون مقوسة بما يشبه منحني جيب الزاوية sin curves (من هنا جاء اسم هذا المسقط: المسقط الجيبي). ويكون مقياس الرسم صحيحا فقط عند خط الطول المركزي و دوائر العرض ، ويستخدم هذا المسقط للمناطق التي تمتد في أنجاه شمال-جنوب.



شكل (٢-٣٠) مسقط ساينسويدال متساوي المساحات

<u>مسقط لامبرت المخروطي المتماثل Lambert Conformal Conic Projection :</u>

يستخدم هذا المسقط المخروط كلوحة إسقاط، ويحدث تماس بين المخروط و سطح الأرض عند دائرتي عرض تسميان دائرتي العرض القياسيتين Standard Parallels. وفي هذا النوع من المساقط تكون المساحات و الأشكال متماثلة عند دائرتي العرض القياسيتين ويزداد التشوه كلما ابتعدنا عنهما ، كما تكون الاتجاهات صحيحة في مناطق محدودة.



شكل (٥-٦) مسقط لامبرت المخروطي المتماثل

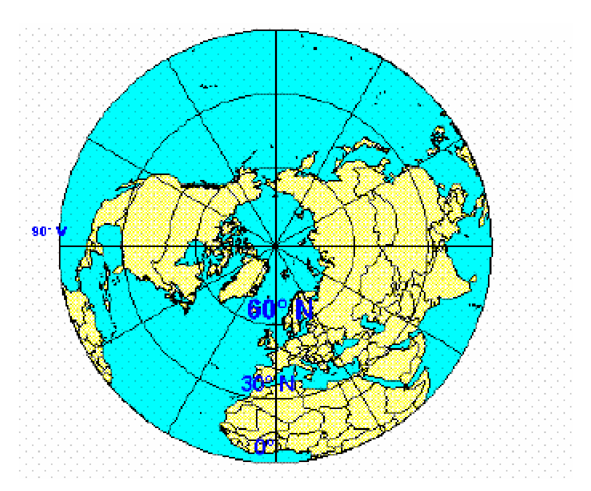
و هذا المسقط مستخدم في المملكة العربية السعودية للخرائط ذات مقياس الرسم الصغير (أصغر من ١ : ١،٠٠٠،٠٠٠) لإظهار الأشكال و المساحات متساوية بهدف إعطاء صورة عامة صحيحة عن مساحة المملكة و مناطقها الإدارية.



شكل (٢-٣١) مسقط لامبرت المخروطي في خرائط السعودية

<u>مسقط لامبرت السمتي متساوي المساحات Lambert Azimuthal Equal-Area Projection:</u>

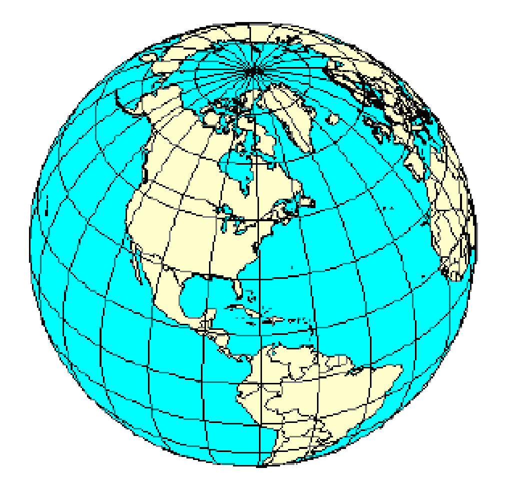
يستخدم هذا المسقط المستوي (وليس الاسطوانة أو المخروط)، وهو مطبق غالبا لرسم مناطق واسعة من المحيطات. وفيه يكون خط الطول المركزي خطا مستقيما بينما تكون باقي خطوط الطول منحنية.



شكل (٢-٣٢) مسقط لامبرت السمتي متساوي المساحات

<u>المسقط الارثوجرافي أو المتعامد Orthographic Projection :</u>

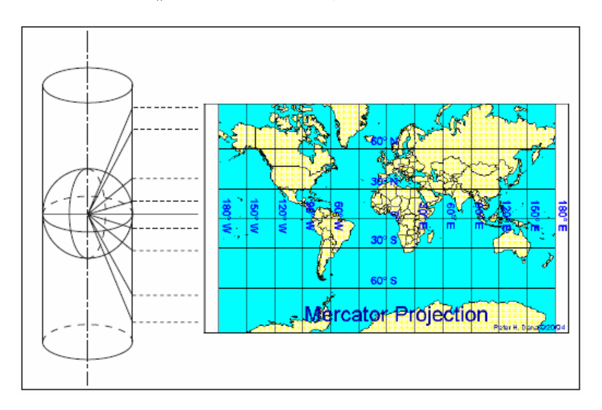
هو مسقط مستوي أو سمتي أيضا (أي يستخدم المستوي في الإسقاط) يستخدم غالبا لإظهار صورة عامة أو منظور لنصف الكرة الأرضية. وبه يوجد تشوه لكلا من المساحات و الأشكال وتكون المسافات صحيحة علي دائرة الاستواء ودوائر العرض الأخرى.



شكل (٢-٣٣) المسقط المتعامد أو الأرثوجرافي

<u>مسقط ميريكاتور Mercator Projection :</u>

هو مسقط أسطواني يحقق شرط أن خطوط الطول و دوائر العرض تتقاطع في زوايا قائمة تماما. و يكون المقياس صحيحا عند دائرة الاستواء أو عند دائرتي عرض قياسيتين علي مسافات متساوية من الاستواء. وغالبا يستخدم هذا المسقط في الخرائط البحرية.

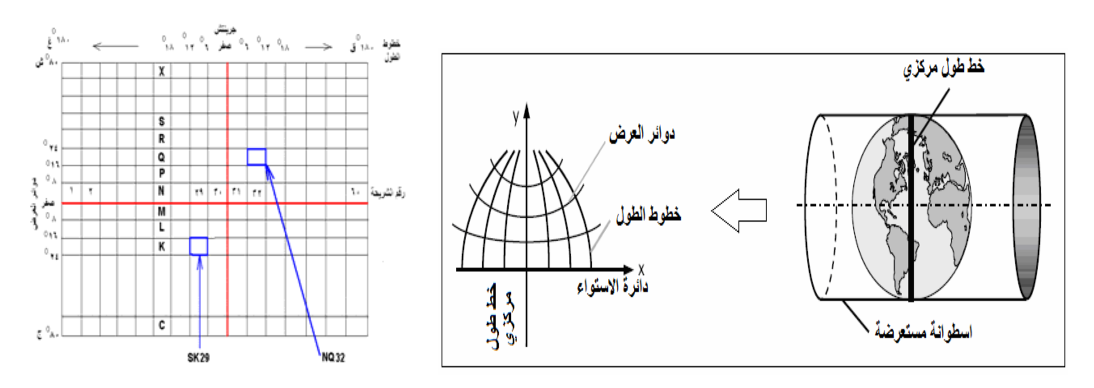


شكل (٢-٣٤) مسقط ميريكاتور

<u>مسقط ميريكاتور المستعرض Transverse Mercator Projection :</u>

ينتج هذا المسقط من إسقاط الأرض علي اسطوانة تمسها عند خط طول مركزي Central Meridian. وغالبا يستخدم هذا المسقط للمناطق التي تمتد في اتجاه شمال-جنوب أكبر من امتدادها في اتجاه شرق-غرب. يزداد التشوه (في المقياس و المسافة و المساحة) كلما ابتعدنا عن خط الطول المركزي ، ولذلك نلجأ إلي فكرة الشرائح عند استخدام هذا المسقط حيث يكون عرض الشريحة الواحدة – في اتجاه الشرق – ثلاثة أو أربعة درجات من خطوط الطول بحيث لا يكون مقدار التشوه كبيرا عند أطراف الشريحة التي يقع خط طولها المركزي في

منتصفها. مسقط ميريكاتور المستعرض مستخدم في خرائط الكثير من دول العالم مثل مصر و بريطانيا.



شكل (٢-٣٥) مسقط ميريكاتور المستعرض

<u>مسقط ميريكاتور المستعرض العالمي Universal Transverse Mercator Projection:</u>

يعد هذا المسقط <u>أشهر</u> أنواع مساقط الخرائط علي المستوي العالمي و يرمز له اختصارا بأحرف UTM، وهو من المساقط التي تحافظ علي المساحات. أيضا لأنه يعتمد علي فكرة تقسيم الأرض الي شرائح صغيرة فأن التشوه يكون بسيطا مما يجعل هذا المسقط مناسبا للخرائط كبيرة المقياس. كما زادت أهميته في السنوات الأخيرة بسبب أنه أحد المساقط المستخدمة في أجهزة تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع GPS.

ويتكون المسقط من عدد من النقاط تشمل:

- يعتمد مسقط UTM علي إيجاد طريقة لرسم خرائط العالم كله وذلك عن طريق تقسيم الأرض إلي ٦٠ شريحة zones كلا منها يغطي <u>**٦ درجات**</u> من خطوط الطول بحيث يكون لكل شريحة مسقط UTM له خط طول مركزي Central Meridian يقع في مركز هذه الشريحة.
- تمتد شرائح مسقط UTM من دائرة العرض ٨٠ جنوبا إلي دائرة العرض ٨٤ شمالا.
- ترقم الشرائح من رقم ١ إلي رقم ٦٠ بدءا من خط الطول 180^{o} غرب ، بحيث تمتد الشريحة الأولي من 180^{o} غرب إلي 174^{o} غرب ويكون خط طولها المركزي meridian central عند 177^{o} غرب.
- تقسم كل شريحة طولية إلي مربعات كل <u>**٨ درجات**</u> من دوائر العرض.

– يكون هناك حرف خاص – كاسم - لكل مربع من هذه المربعات ، وتبدأ الحروف من حرف **C** جنوبا إلي حرف X شمالا مع **استبعاد** حرفي I و O (لقرب الشبه بينهما وبين الأرقام الانجليزية**!**).

C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	2	3	4	5	6	-	7	8	9	10	11	-	12	13	14	15	16

– يكون معامل المقياس scale factor مساويا ٠.٩٩٩٦ عند خط الطول المركزي ، بحيث مع ازدياد التشوه كلما بعدنا عن خط الطول المركزي فأن أقصي قيمة لمعامل القياس عند أطراف الشريحة ستكون ١.٠٠٠٩٧ عند خط الاستواء أو ١.٠٠٠٢٩ عند دائرة عرض ٤٥° ش.

لتحديد رقم شريحة UTM لأي موقع جغرافي:

$$\text{ترتيب الحرف} = \left(\frac{\text{دائرة العرض} + ٨٠}{٨}\right) + ١$$

المعادلة السابقة لحالة أن الموقع الجغرافي يقع شمال دائرة الاستواء، أما إن كان الموقع يقع جنوب خط الاستواء فيتم استخدام معادلة أخري هي:

ترتيب الحرف = (دائرة العرض - ٨٠) ÷ ٨

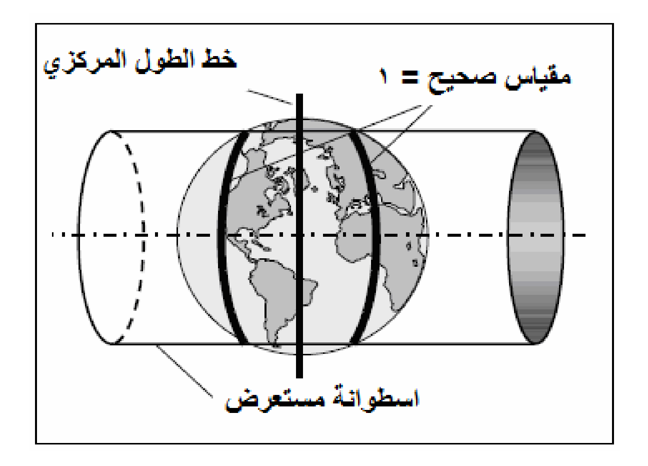
ولحساب رقم الشريحة:

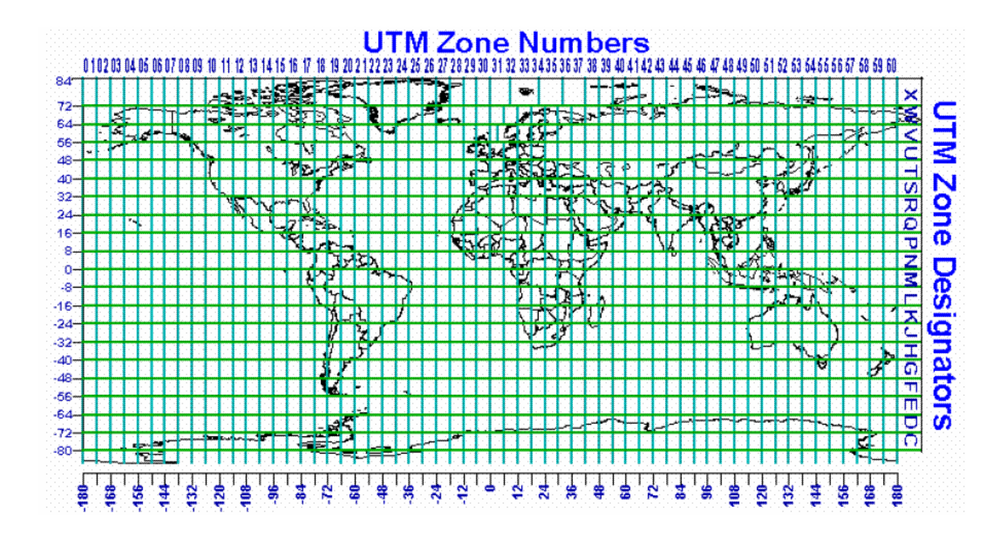
$$\text{رقم الشريحة} = \left(\frac{\text{خط الطول}}{٦}\right) + ٣١$$

المعادلة السابقة لحالة أن الموقع الجغرافي يقع شرق جرينتش، أما إن كان الموقع يقع غرب جرينتش فيتم استخدام معادلة أخري هي:

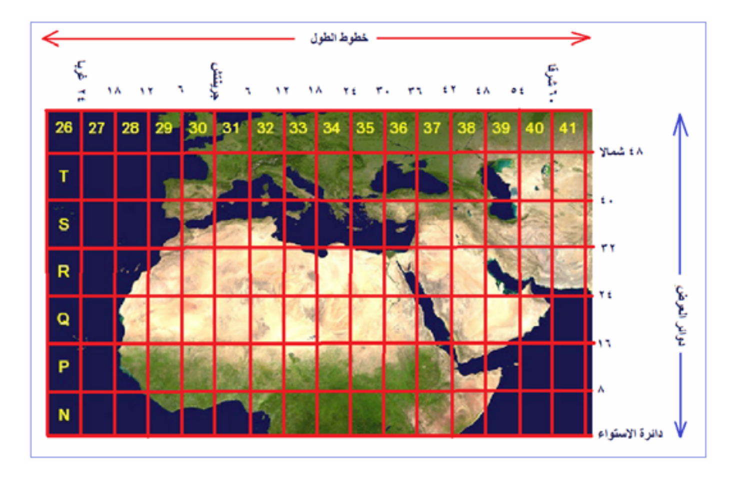
رقم الشريحة = (خط الطول ÷ ٦) - ٣٠

علي أن يتم في كلتا المعادلتين ٤-٨ و ٤-٩ أخذ الرقم الصحيح للناتج فقط ودون تقريب.





شكل (٢-٣٦) شرائح مسقط ميريكاتور المستعرض العالمي



شكل (٢-٣٧) شرائح مسقط ميريكاتور المستعرض للدول العربية

٢-٦-٤ نظم الإحداثيات المسقطة

هناك عدة نظم إحداثيات أخري لا تعتمد علي فكرة الإحداثيات الجغرافية (دوائر العرض و خطوط الطول) التي تغطي الأرض حيث أن استخدام قيم هذه الإحداثيات (بالدرجات و الدقائق و الثواني) لا يكون أحيانا مناسبا لعدد كبير من مستخدمي الخرائط. أيضا فأن خطوط الطول تتقارب كلما اتجهنا ناحية أحد قطبي الأرض مما يجعل المسافة بين خطي طول متتاليين ليست مسافة ثابتة، فهذه المسافة (المقابلة لدرجة واحدة من خطوط الطول) تبدأ بقيمة ١١١.٣ كيلومتر عند دائرة الاستواء، ثم تبدأ في التناقص فتصل ١٠٧.٦ كيلومتر عند دائرة عرض ١٥° ثم تصل ٩٦.٥ كيلومتر عند دائرة عرض ٣٠° الي أن تصبح صفر كيلومتر عند دائرة عرض ٩٠° أي عند القطب. أيضا و بسبب أن الأرض ليست تامة الاستدارة فأن المسافات بين دوائر العرض أيضا لن تكون متساوية، وان كان التغير فيها بسيط جدا بالمقارنة بالتغير في خطوط الطول.

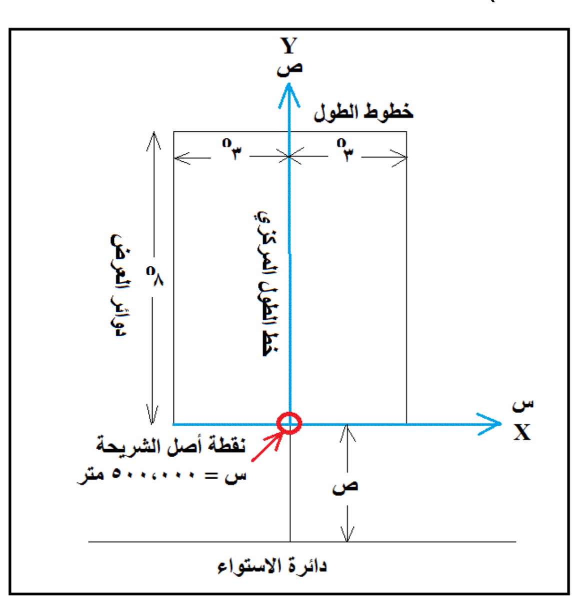
عند دائرة عرض	المسافة المقابلة لدرجة واحدة من دوائر العرض	المسافة المقابلة لدرجة واحدة من خطوط الطول
٠°	١١٠.٥٧٤ كم	١١١.٣٢٠ كم
١٥°	١١٠.٦٤٩ كم	١٠٧.٥٥١ كم
٣٠°	١١٠.٨٥٢ كم	٩٦.٤٨٦ كم
٤٥°	١١١.١٣٢ كم	٧٨.٨٤٧ كم
٦٠°	١١١.٤١٢ كم	٥٥.٨٠٠ كم
٧٥°	١١١.٦١٨ كم	٢٨.٩٠٢ كم
٩٠°	١١١.٦٩٤ كم	٠ كم

ومن ثم أبتكر العلماء - منذ عدة قرون - نظم أخري تسمي نظم الإحداثيات المسقطة (أي بعد إسقاط الأرض علي الخريطة) كما تسمي نظم الإحداثيات التربيعية (لأن شكل شبكة الإحداثيات ستكون شبكة مربعات متعامدة) وأيضا تسمي نظم الإحداثيات المترية (لأن الإحداثيات ستكون بوحدات الأمتار).

ويعد نظام إحداثيات ميريكاتور المستعرض العالمي UTM أشهر نظم الإحداثيات المسقطة أو التربيعية أو المترية. وهذا النظام مطبق في خرائط عدد كبير من الدول ومن ضمنها المملكة العربية السعودية.

يتكون نظام الإحداثيات المسقطة في UTM من:

- نقطة الأصل (صفر ، صفر) للشريحة تقع في تقاطع خط الطول المركزي للشريحة مع دائرة الاستواء.
- الإحداثي السيني X في اتجاه الشرق.
- الإحداثي الصادي Y في اتجاه الشمال.
- تكون قيم الإحداثيين السيني و الصادي بوحدات الأمتار.
- حتى لا نحصل علي قيم إحداثيات سالبة فيتم فرض قيمة إحداثيات شرقية زائفة False Easting لنقطة الأصل بقيمة ٥٠٠،٠٠٠ متر (لذلك فأن الإحداثي السيني لا يزيد عن ٦ خانات من الأرقام).
- لا تعطى أي قيمة إحداثيات شمالية زائفة False Easting لنقطة الأصل، أي أن قيمة الصفر في اتجاه الشمال تكون بالفعل عند دائرة الاستواء (وبذلك فأن الإحداثي الصادي قد يصل إلي ٧ خانات).



شكل (٢-٣٨) الإحداثيات المترية في نظام ميريكاتور المستعرض العالمي

تجدر الإشارة لوجود بعض المواقع علي شبكة الانترنت التي تقدم خدمات آنية on-line لإجراء حسابات و تحويل الإحداثيات من نظام الإحداثيات الجغرافية الي نظام إحداثيات ميريكاتور المستعرض العالمي، ومنهم علي سبيل المثال:

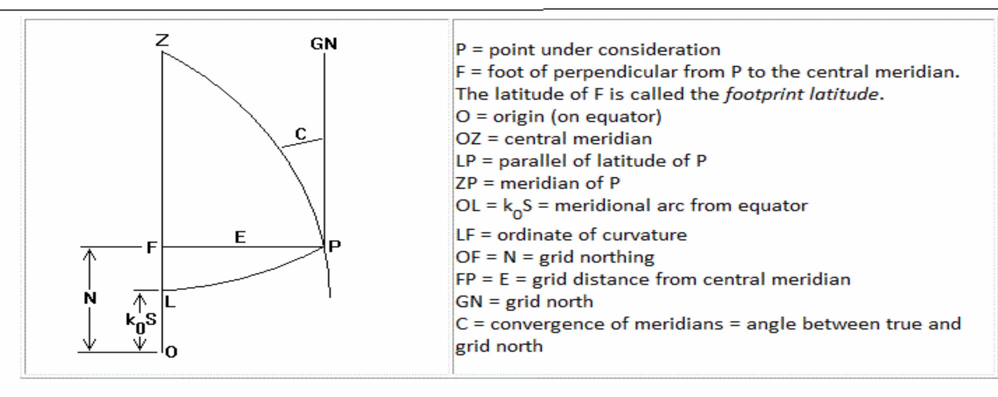
http://www.rcn.montana.edu/resources/tools/coordinates.aspx

http://gis.dep.wv.gov/convert/llutm_conus.php

http://www.geod.nrcan.gc.ca/tools-outils/tools_info_e.php?apps=gsrug

http://home.hiwaay.net/~taylorc/toolbox/geography/geoutm.html

و تتكون معادلات التحويل من الإحداثيات الجغرافية (خط الطول و دائرة العرض) إلي الإحداثيات المترية بنظام UTM من عدة معادلات ليست بسيطة ولا يمكن حسابها بآلة حاسبة بل تحتاج لبرنامج كمبيوتر لإتمامها. الشكل التالي يقدم هذه المعادلات بصورة شاملة دون الدخول في تفاصيلها الكاملة.



Symbols

- lat = latitude of point
- long = longitude of point
- $long_0$ = central meridian of zone

  k_0 = scale along $long_0$ = 0.9996. Even though it's a constant, we retain it as a separate symbol to keep the
- numerical coefficients simpler, also to allow for systems that might use a different Mercator projection.
- e = SQRT($1-b^2/a^2$) = .08 approximately. This is the eccentricity of the earth's elliptical cross-section.

  $e'^2 = (ea/b)^2 = e^2/(1-e^2)$ = .007 approximately. The quantity e' only occurs in even powers so it need only be
- calculated as e'^2.
- n = (a-b)/(a+b)
- rho = $a(1-e^2)/(1-e^2\sin^2(lat))^{3/2}$. This is the radius of curvature of the earth in the meridian plane.

  nu = $a/(1-e^2\sin^2(lat))^{1/2}$. This is the radius of curvature of the earth perpendicular to the meridian plane. It is also the distance from the point in question to the polar axis, measured perpendicular to the earth's
- surface.
- p = ($long-long_0$) **in radians** (This differs from the treatment in the Army reference)

Calculate the Meridional Arc

S is the meridional arc through the point in question (the distance along the earth's surface from the equator). All angles are in radians.

- S = A'lat - B'sin(2lat) + C'sin(4lat) - D'sin(6lat) + E'sin(8lat), where lat is in radians and
- A' = $a[1 - n + (5/4)(n^2 - n^3) + (81/64)(n^4 - n^5)$ ...]
- B' = $(3 \tan S/2)[1 - n + (7/8)(n^2 - n^3) + (55/64)(n^4 - n^5)$ ...]
- C' = $(15 \tan^2 S/16)[1 - n + (3/4)(n^2 - n^3)$ ...]
- D' = $(35 \tan^3 S/48)[1 - n + (11/16)(n^2 - n^3)$ ...]
- E' = $(315 \tan^4 S/512)[1 - n$ ...]

The USGS gives this form, which may be more appealing to some. (They use M where the Army uses S)

$M = a[(1 - e^2/4 - 3e^4/64 - 5e^6/256$ ....)lat

$- (3e^2/8 + 3e^4/32 + 45e^6/1024$...)sin(2lat)

$+ (15e^4/256 + 45e^6/1024 +$ ....)sin(4lat)

- $- (35e^6/3072 +$ ....) sin(6lat) + ...)] where lat is in radians

This is the hard part. Calculating the arc length of an ellipse involves functions called *elliptic integrals*, which don't reduce to neat closed formulas. So they have to be represented as series.

Converting Latitude and Longitude to UTM

All angles are in radians.

y = northing = $K1 + K2p^2 + K3p^4$, where

- $K1 = Sk_0$,
- $K2 = k_0$ nu sin(lat)cos(lat)/2 = k_0 nu sin(2 lat)/4
- $K3 = [k_0$ nu sin(lat)$\cos^3$(lat)/24][(5 - $\tan^2$(lat) + $9e'^2\cos^2$(lat) + $4e'^4\cos^4$(lat)]

  x = easting = $K4p + K5p^3$, where

  - $K4 = k_0$ nu cos(lat)

شكل (٢-٣٩) معادلات تحويل الإحداثيات من نظام UTM إلي النظام الجغرافي

(المرجع: http://www.uwgb.edu/dutchs/usefuldata/utmformulas.htm)

Converting UTM to Latitude and Longitude

In response to innumerable e-mails, you *cannot* use UTM grid coordinates without knowing your zone. There are sixty points on the earth's surface that have the same numerical UTM coordinates, 120 if you consider that northing is duplicated in both hemispheres.

y = northing, x = easting (relative to central meridian; subtract 500,000 from conventional UTM coordinate).

Calculate the Meridional Arc

This is easy: $M = y/k_0$.

Calculate Footprint Latitude

- $mu = M/[a(1 - e^2/4 - 3e^4/64 - 5e^6/256...)$
- $e_1 = [1 - (1 - e^2)^{1/2}]/[1 + (1 - e^2)^{1/2}]$

footprint latitude fp = mu + J1sin(2mu) + J2sin(4mu) + J3sin(6mu) + J4sin(8mu), where:

- $J1 = (3e_1/2 - 27e_1^3/32 ..)$
- $J2 = (21e_1^2/16 - 55e_1^4/32 ..)$
- $J3 = (151e_1^3/96 ..)$
- $J4 = (1097e_1^4/512 ..)$

Calculate Latitude and Longitude

- $e'^2 = (ea/b)^2 = e^2/(1-e^2)$
- $C1 = e'^2\cos^2(fp)$
- $T1 = \tan^2(fp)$
- $R1 = a(1-e^2)/(1-e^2\sin^2(fp))^{3/2}$. This is the same as rho in the forward conversion formulas above, but calculated for fp instead of lat.
- $N1 = a/(1-e^2\sin^2(fp))^{1/2}$. This is the same as nu in the forward conversion formulas above, but calculated for fp instead of lat.
- $D = x/(N1k_0)$

lat = fp - Q1(Q2 - Q3 + Q4), where:

- $Q1 = N1 \tan(fp)/R1$
- $Q2 = (D^2/2)$
- $Q3 = (5 + 3T1 + 10C1 - 4C1^2 - 9e'^2)D^4/24$
- $Q4 = (61 + 90T1 + 298C1 + 45T1^2 - 3C1^2 - 252e'^2)D^6/720$

long = long0 + (Q5 - Q6 + Q7)/cos(fp), where:

- $Q5 = D$
- $Q6 = (1 + 2T1 + C1)D^3/6$
- $Q7 = (5 - 2C1 + 28T1 - 3C1^2 + 8e'^2 + 24T1^2)D^5/120$

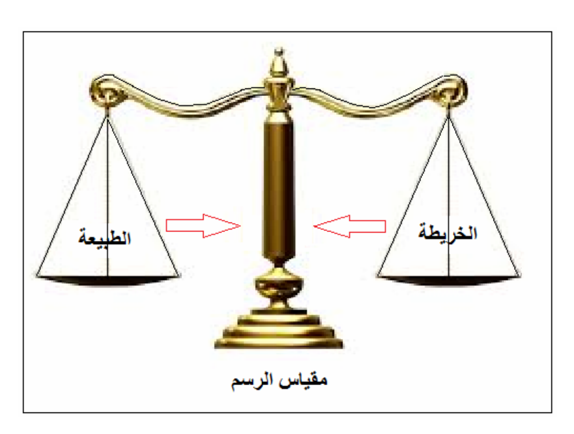
شكل (٢-٤٠) معادلات تحويل الإحداثيات من النظام الجغرافي إلي نظام UTM

(المرجع: http://www.uwgb.edu/dutchs/usefuldata/utmformulas.htm)

٢-٧ مقياس الرسم:

لا يمكن بأي حال من الأحوال رسم الأرض أو جزء منها بنفس الأبعاد الحقيقية علي الخريطة التي مهما كبرت لا تزيد عن المتر المربع الواحد، لذلك نحن في حاجة الي نسبة تصغير محددة لرسم الخريطة وهذه النسبة هي ما يطلق عليها اسم مقياس الرسم. وهذه النسبة يجب أن تكون ثابتة في كافة أجزاء الخريطة، فلا يمكن استخدام قيمة معينة في جزء من الخريطة و استخدام قيمة أخري في جزء آخر من نفس الخريطة.

يعرف مقياس الرسم علي أنه: ***"النسبة العددية الثابتة بين طول أي بعد علي الخريطة والطول الحقيقي المناظر له علي الطبيعة"***. وكما سبق الذكر فأن مقياس الرسم من الأسس الرياضية التي تبني عليها الخرائط، وبدون مقياس الرسم ستتحول الخريطة الي رسم أو صورة أو اسكتش. ومعرفة قيمة مقياس رسم أي خريطة هو الذي يمكننا من معرفة (حساب أو قياس) قيم المسافات و الأطوال و المساحات الحقيقية للمعالم الجغرافية الظاهرة علي الخريطة. كما أن مقياس الرسم هو ما يجعلنا نحسب الطول المناسب علي الخريطة اللازم لتوقيع أو رسم طول مقاس فعلا في الطبيعة.



شكل (٢-٤١) مفهوم مقياس الرسم

٢-٧-١ أنواع مقياس الرسم

يكتب مقياس الرسم علي الخريطة أو يرسم عليها، ولذلك فأن مقاييس الرسم تصنف الي نوعين رئيسين وهما المقاييس الكتابية و المقاييس الخطية.

مقياس الرسم العددي

يكتب مقياس الرسم العددي علي الخريطة في احدي ثلاثة صور: المقياس المباشر و المقياس النسبي و المقياس الكسري.

مقياس الرسم المباشر:

يكتب هذا المقياس مباشرة في جملة بسيطة ليدل علي مقياس رسم الخريطة مثل:

السنتيمتر يمثل كيلومتر

١ سنتيمتر = ٥٠٠ متر

ا سنتيمتر يساوي ١٠٠٠ متر

ومع أن المقياس المباشر أسهل مقاييس الرسم الكتابية إلا أنه لم يعد مستخدما في الخرائط الآن.

مقياس الرسم النسبي:

يعد هذا المقياس هو الأكثر شيوعا بين مقاييس الرسم الكتابية المستخدمة في كافة أنواع الخرائط، ويكتب في صورة نسبة الجزء الأول منها يساوي الوحدة المستخدمة في القياس علي الخرائط بينما الجزء الثاني من النسبة يعبر عن الوحدة المناظرة علي الطبيعة. فمثلا عندما نكتب مقياس رسم الخريطة في الصورة النسبية التالية:

١ : ١٠٠٠

فهذا يدل علي أن:

كل وحدة علي الخريطة = ١٠٠٠ وحدة (من نفس النوع) علي الطبيعة، أي أن:

كل ١ سنتيمتر علي الخريطة = ١٠٠٠ سنتيمتر في الطبيعة.

كل ١ ملليمتر علي الخريطة = ١٠٠٠ ملليمتر في الطبيعة.

مقياس الرسم الكسري:

يختلق هذا المقياس عن المقياس النسبي في أنه يكتب في صورة كسر حيث البسط يعبر عن الوحدة علي الخريطة و المقام يعبر عن الوحدة المناظرة علي الطبيعة. فالمقياس:

$$\frac{١}{١٠٠٠}$$

يساوي المقياس النسبي ١ : ١٠٠٠

أي أن:

كل وحدة علي الخريطة = ١٠٠٠ وحدة (من نفس النوع) علي الطبيعة، بمعني أن:

كل ١ سنتيمتر علي الخريطة = ١٠٠٠ سنتيمتر في الطبيعة.

والجدول التالي يمثل عدة أنواع من مقاييس الرسم المستخدمة في الخرائط:

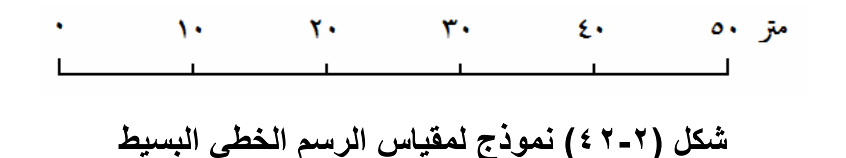
المقياس المباشر	المقياس النسبي	نوع الخريطة
سنتيمتر = ١٠ كيلومتر	١ : ١،٠٠٠،٠٠٠	خريطة مليونية (صغيرة المقياس)
سنتيمتر = كيلومتر	١ : ١٠٠،٠٠٠	خريطة متوسطة المقياس
سنتيمتر = ٥٠٠ متر	١ : ٥٠،٠٠٠	
سنتيمتر = ٢٥٠ متر	١ : ٢٥،٠٠٠	
سنتيمتر = ١٠٠ متر	١ : ١٠،٠٠٠	خريطة كبيرة المقياس
سنتيمتر = ٥٠ متر	١ : ٥٠٠٠	
سنتيمتر = ٢٥ متر	١ : ٢٥٠٠	
سنتيمتر = ١٠ متر	١ : ١٠٠٠	مخططات (كبيرة المقياس جدا)
سنتيمتر = متر	١ : ١٠٠	

مقياس الرسم الخطي

في هذا النوع من مقاييس الرسم يتم "رسم" المقياس علي الخريطة في صورة خط مجزأ الي عدد من الأقسام، بحيث تكون وحدات المقياس مرسومة بوحدات الخريطة (مثل السنتيمتر) ويكتب علي كل جزء منها ما يمثله من أطوال حقيقية علي الطبيعة. وتتميز مقاييس الرسم تلك من أنها ستصغر أو تكبر بنفس النسبة عندما يتم تصغير أو تكبير الخريطة ذاتها. وتتعدد مقاييس الرسم الخطية لتشمل المقياس البسيط و الدقيق و الشبكي و المقارن و الزمني.

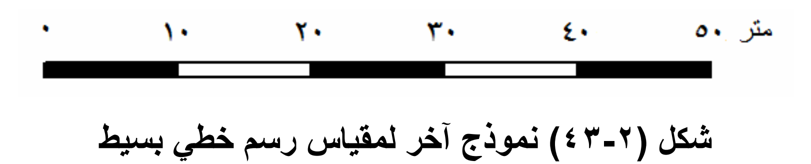
المقياس الخطي البسيط:

هو عبارة عن خط (أو مستطيل عرضه بسيط جدا) ويقسم الي عدة أقسام متساوية ويكتب أعلي كل قسم ما يمثله غلي الطبيعة.



شكل (٢-٤٢) نموذج لمقياس الرسم الخطي البسيط

ومن الممكن رسم مقياس الرسم في صورة مستطيل عرضه قليل جدا (ملليمتر مثلا) بدلا من الخط المستقيم ليكون أكثر وضوحا علي الخريطة، مع تلوين أجزاؤه باللونين الأبيض و الأسود بالتتابع ليكون أكثر جمالا:



شكل (٢-٤٣) نموذج آخر لمقياس رسم خطي بسيط

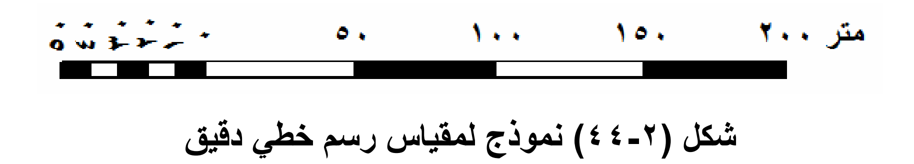
المقياس الخطي الدقيق:

يطلق مصطلح "دقة المقياس" علي أصغر وحدة مرسومة من وحدات مقياس الرسم، فعلي سبيل المثال فأن دقة المقياس الخطي البسيط في الشكل بأعلى تساوي ١ كيلومتر حيث أن أصغر جزء يمكن قياسه علي هذا المقياس هو الكيلومتر الصحيح. وتجدر الإشارة الي أن دقة المقياس لا تعتمد علي قيمة الوحدات المكتوبة صراحة عليه، ففي الشكل التالي فما تزال دقة المقياس تساوي ١ كيلومتر مع أن الوحدات مكتوبة كل ٢ كيلومتر:



إذا أردنا قياس مسافة علي الخريطة فكانت أطول بقليل من السنتيمتر الواحد فكيف نعرف قيمة المسافة المناظرة لها علي الطبيعة؟ ستكون بالتأكيد أكبر من الكيلومتر الواحد، لكن بأي قيمة حقيقية؟ فهذا المقياس لا يسمح لنا إلا بقياس الكيلومترات الصحيحة فقط. في هذه الحالة نلجأ للنوع الثاني من أنواع مقاييس الرسم الخطية ألا و هو المقياس الخطي الدقيق.

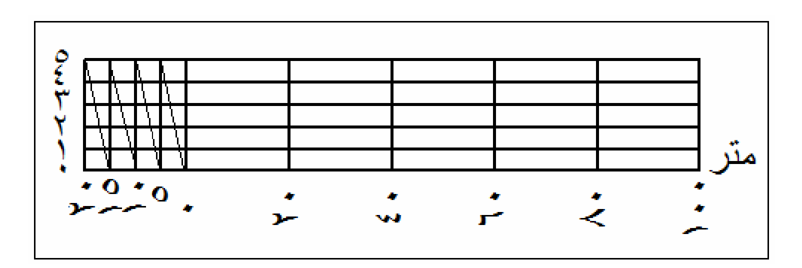
المقياس الخطي الدقيق هو مقياس خطي بسيط مضافا إليه وحدة واحدة علي يسار الصفر مقسمة الي عدد من الأقسام الفرعية الصغيرة. ويكون عدد هذه الأقسام الفرعية مناسبا للحصول علي الدقة الجديدة المطلوبة للمقياس. أي أن المقياس الخطي الدقيق يتكون مع مقياس خطي بسيط بالإضافة لجزء أدق علي يسار صفر المقياس.



شكل (٢-٤٤) نموذج لمقياس رسم خطي دقيق

المقياس الخطي الشبكي:

يعد هذا النوع من مقاييس الرسم الخطية أكثر الأنواع دقة، ويأخذ شكل شبكة من الخطوط ومن هنا جاء أسمه. ويستعمل المقياس الخطي الشبكي عندما نحتاج دقة عالية لمقياس الرسم ولا يمكننا رسمها علي المقياس الدقيق حيث أنها ستحتاج لعدد كبير من الأجزاء الفرعية مما لا يجعل شكل المقياس متناسقا.

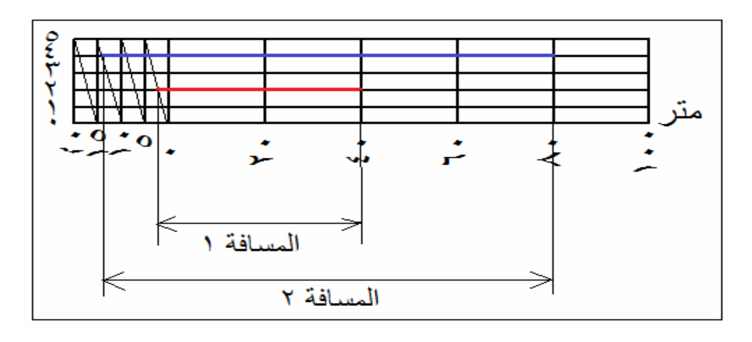


شكل (٢-٤٥) نموذج لمقياس رسم خطي شبكي

والشكل التالي يقدم تطبيقا علي استخدام مقياس الرسم الشبكي:

المسافة الأولي سيبلغ طولها في الحقيقية = ٤٠ مترا من مقياس الرسم البسيط + صفر متر من المستوي السفلي لمقياس الرسم الدقيق (حيث أنها لم تصل للجزء الأول من أجزاء هذا المقياس) + ٢ متر من المستوي الثاني لمقياس الرسم الشبكي = ٤٠ + ٠ + ٢ = ٤٢ مترا

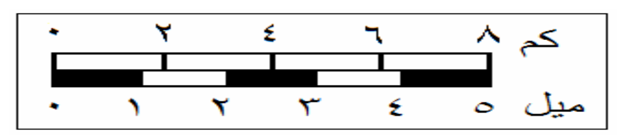
المسافة الثانية سيبلغ طولها علي الطبيعة = ٨٠ متر من مقياس الرسم البسيط + ١٠ متر من المستوي السفلي لمقياس الرسم الدقيق (حيث أنها تجاوزت قيمة ١٠ متر لكنها لم تصل الي ١٥ متر علي هذا المقياس) + ٤ أمتار من المستوي الرابع لمقياس الرسم الشبكي = ٨٠ + ١٠ + ٤ = ٩٤ مترا.



مقاييس خطية أخري:

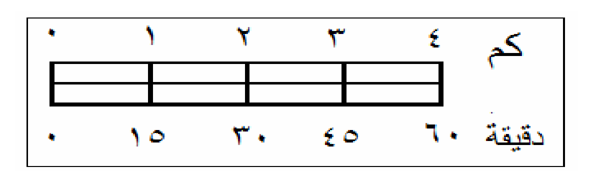
توجد أنواع أخري من مقاييس الرسم الخطية وان كانت لم تعد مستخدمة بكثرة الآن، ومنها علي سبيل المثال مقياس الرسم المقارن و مقياس الرسم الزمني.

يتكون مقياس الرسم المقارن من مقياسين متلاصقين من مقاييس الرسم وان كانا يختلف في وحدات القياس علي الطبيعة، فيمكن عمل مقياس رسم خطي يقرأ المسافات علي الطبيعة بالكيلومترات بينما المقياس الخطي الثاني يقرأ المسافات علي الطبيعة بالأميال. ومع سهولة عمليات تحويل المسافات باستخدام الآلات الحاسبة وبرامج الكمبيوتر فلم يعد المقياس المقارن شائعا بكثرة في الخرائط الحديثة، وان كانت بعض الخرائط تحمل مقياسين رسم مختلفين في وحدات القياس علي الطبيعة إلا أنهما غالبا لا يرسما متلاصقين.



شكل (٢-٤٦) نموذج لمقياس رسم خطي مقارن

تقوم فكرة مقياس الرسم الزمني علي مقارنة وحدات قياس المسافات علي الطبيعة مع الوحدات الزمنية، وكان هذا النوع من مقاييس الرسم مستخدما في الماضي في الخرائط العسكرية و خرائط الكشافة و الرحلات. يتكون المقياس الزمني من مقياسي رسم أحدهما لقراءة المسافات علي الطبيعة (أي مقياس خطي بسيط عادي) والآخر مخصص للزمن الذي يتطلبه قطع هذه المسافة ويكون مدرجا بالدقائق أو الساعات. فإذا قام مستخدم الخريطة بقياس مسافة معينة عليها فيمكنه معرفة المسافة الحقيقية المناظرة علي الطبيعة من المقياس الأعلى، وبافتراض سرعة ثابتة للسير يمكنه أيضا معرفة الزمن المستغرق لقطع هذه المسافة من المقياس السفلي.



شكل (٢-٤٧) نموذج لمقياس رسم خطي زمني

٢-٧-٢ مقارنة بين مقاييس الرسم

يتميز كل نوع من نوعي مقاييس الرسم بمميزات عن النوع الآخر، فالمقاييس الكتابية أسهل في الفهم والتعامل. فبمجرد النظر الي مقياس الرسم الكتابي يعرف مستخدم الخريطة مقياس ر سمها بسهولة، بينما المقاييس الخطية المرسومة علي الخريطة تحتاج بعض القياسات و الحسابات لتحديد قيمة مقياس رسم الخريطة. وعلي الجانب الآخر فأن مقاييس الرسم الخطية تتميز بسهولة تحويل الأبعاد المقاسة علي الخريطة الي ما يناظرها علي الطبيعة بمجرد القياس باستخدام المسطرة، بينما تتطلب مقاييس الرسم الكتابية إجراء بعض الحسابات لإتمام هذه الخطوة. أما أهم عيوب مقاييس الرسم الكتابية فهي أنها لا تتغير إذا تم تكبير أو تصغير الخريطة، فعلي سبيل المثال فأن مقياس الرسم الخطي المكتوب في صورة "١/٥٠٠٠" لن تتغير حروفه عندما نكبر أو نصغر هذه الخريطة وستظهر نفس الجملة "١/٥٠٠٠" علي الخريطة المصغرة مع أنها ستكون جملة خاطئة. وفي المقابل فأن أهم مميزات مقاييس الرسم الخطية أنها كصورة مرسومة علي الخريطة ستكبر أو تصغر بنفس نسبة تكبير أو تصغير الخريطة، وبالتالي سيظل مقياس الرسم الخطي صحيحا.

يتم استخدام كلا نوعي مقياس الرسم علي الخرائط بحيث يتم كتابة قيمة مقياس الرسم وأيضا استخدام مقياس رسم خطي علي الخريطة. ويعد هذا أفضل الحلول الكارتوجرافية بحيث يجمع مميزات كلا نوعي مقياس الرسم. أما في حالة أننا مضطرون لاستخدام نوع واحد فقط من مقاييس الرسم فأن المقياس الخطي هو الأفضل.



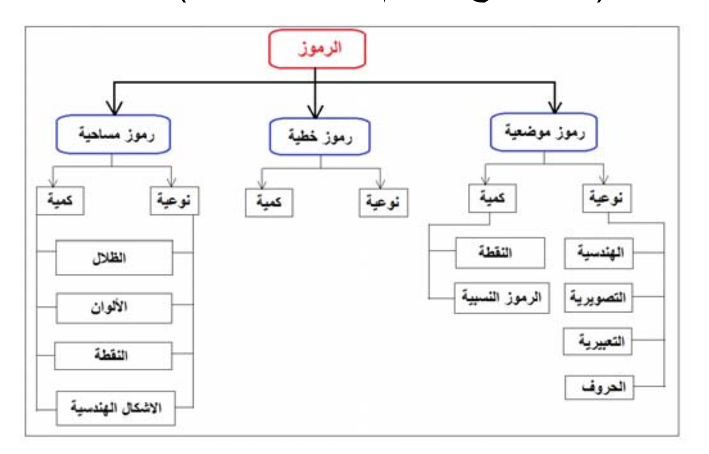
شكل (٢-٤٨) نموذج لعدة صور لمقياس الرسم علي خريطة

٢-٨ رموز و مفتاح الخريطة

يتم رسم الظاهرات الجغرافية (التفاصيل المكانية والمعلومات غير المكانية) علي الخريطة من خلال ٣ صور: النقطة، الخط، المضلع. وبناءا علي ذلك التمثيل للظاهرات فأن الرموز المستخدمة في الخرائط تنقسم أيضا الى ٣ أنواع من الرموز:

- الرموز النقطية أو المكانية
- الرموز الخطية
- الرموز المساحية

وفي كل نوع من هذه الأنواع الرئيسية يوجد قسمين فرعين للرموز النوعية (لتمثيل نوع الظاهرة) والرموز الكمية (لتمثيل نوع و حجم أو قيمة الظاهرة).



شكل (٢-٤٩) أنواع الرموز علي الخرائط

٢-٨-١ الرموز النقطية (أو الموضعية):

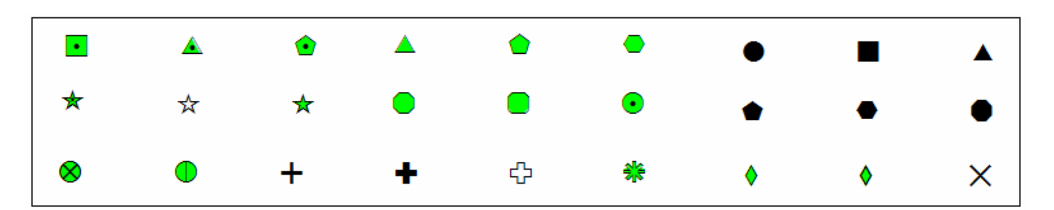
تتكون من مجموعتين فهي إما رموز نوعية أو رموز كمية.

الرموز النقطية النوعية:

تنقسم الى عدة أنواع فرعية:

(أ) الرموز الهندسية:

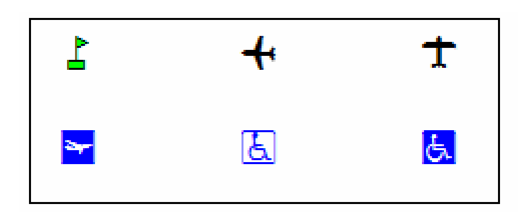
هي أشكال هندسية صغيرة مثل النقطة و الدائرة و المربع و المستطيل و المثلث و المعين و متوازي الأضلاع ... الخ تحدد موقع الظاهرة علي الخريطة. كما يمكن تغيير ألوان كل رمز للحصول علي رموز موضعية أخري. وفي حالة الخرائط الموضوعية الكمية فأن حجم الرمز يكون دالا علي قيمة الظاهرة، فمثلا كلما كبر حجم الدائرة في خرائط توزيع السكان كان ذلك دالا علي زيادة عدد سكان هذه المنطقة الجغرافية.



شكل (٢-٥٠) رموز موضعية هندسية

(ب) الرموز التصويرية:

عبارة عن صور صغيرة لنوع الظاهرات التي ترمز لها، إلا أن هذا النوع من الرموز مستخدم فقط في الخرائط السياحية والتعليمية.



شكل (٢-٥١) رموز تصويرية

(ج) رموز الحروف الأبجدية:

عبارة عن حروف (عربية أو انجليزية) تمثل علي الخرائط لتبين مواضع و نوع الظاهرات التي تمثلها، مثل استخدام حرف H للدلالة علي موقع مستشفي. أيضا فأن هذا النوع من الرموز غير مستحب في الخرائط الجغرافية و الهندسية بصفة عامة.

(د) الرموز التعبيرية:

عبارة عن رسوم (صغيرة) تعبر عن التي ترمز لها بصورة فنية، مثل رسم صورة جمل للتعبير عن مناطق المراعي. أيضا من غير المستحب استخدام هذا النوع من الرموز في الخرائط الجغرافية و الهندسية.

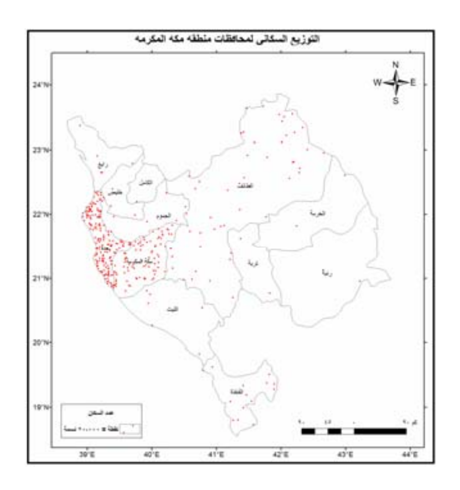
الرموز النقطية الكمية:

تتكون من نوعين رئيسين هما رموز النقطة و الرموز النسبية:

(أ) رموز النقطة:

يتم استخدام رمز النقطة للتعبير عن قيمة محددة للظاهرة المطلوب تمثيلها علي الخريطة، وبناءا علي قيمة الظاهرة في منطقة معينة يتم حساب عدد النقاط التي ستوضع داخل هذه المساحة علي الخريطة. فمثلا عند استخدام رموز النقاط في تمثيل عدد السكان في أحياء مدينة مكة المكرمة فأننا نحدد القيمة التي ستعبر عنها النقطة الواحدة (وليكن مثلا ٢٠ ألف نسمة)، ثم نقسم عدد سكان كل حي من أحياء المدينة علي قيمة النقطة الواحدة فنحسب عدد

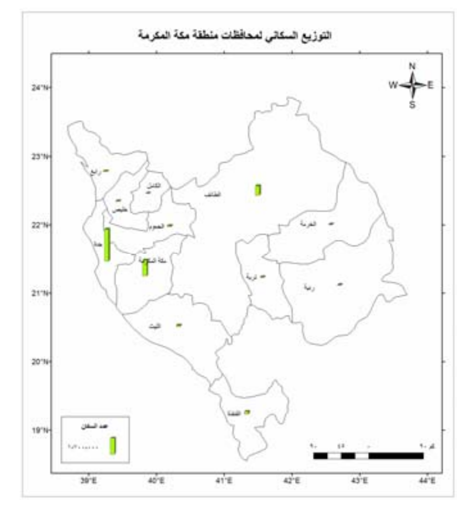
النقاط التي تعبر عن سكان كل حي وهذا النوع من الخرائط يسمي خرائط النقاط أو خرائط الكثافة.



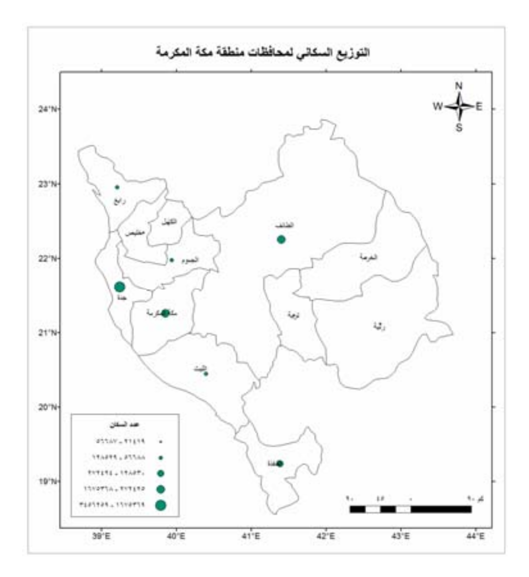
شكل (٢-٥٢) نموذج لخرائط النقاط أو خرائط الكثافة

<u>(ب) الرموز النسبية:</u>

في هذا النوع من الخرائط يتم التعبير عن قيمة الظاهرة باستخدام الرموز الموضعية الهندسية (الدائرة و المربع و المثلث و المستطيل ... الخ) بصورة نسبية للدلالة عن التغيرات الكمية بين مفردات الظاهرة. فمثلا يمكن التعبير عن عدد سكان محافظات منطقة مكة المكرمة الإدارية باستخدام الأعمدة بحيث يكون طول العمود معبرا عن القيمة النسبية لعدد السكان في كل محافظة. أيضا يمكن استخدام رمز الدائرة لتمثيل عدد السكان بحيث يكبر حجم الدائرة كلما كبر عدد السكان في كل محافظة. تعطي طريقة الرموز النسبية صورة سريعة للقارئ عن التغيرات النسبية لقيمة الظاهرة الممثلة علي الخريطة و التباين أو الاختلاف المكاني (الجغرافي) لتوزيع هذه الظاهرة.



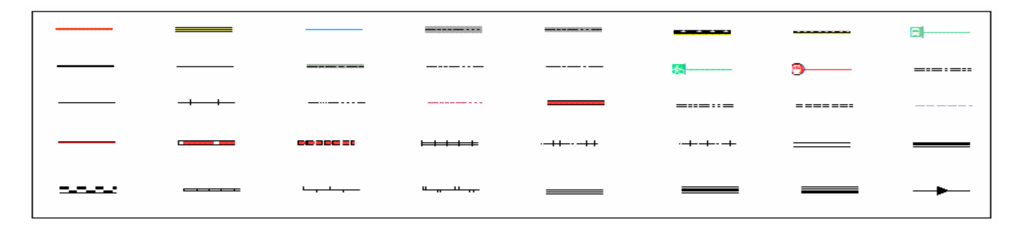
شكل (٢-٥٣) نموذج لخرائط الأعمدة النسبية



شكل (٢-٥٤) نموذج لخرائط الدوائر النسبية

٢-٨-٢ الرموز الخطية:

تستخدم الرموز الخطية للتعبير عن الظاهرات التي لها امتداد طولي في الطبيعة مثل الأنهار و الطرق و الشوارع و شبكات المياه و الصرف الصحي وخطوط نقل البترول والأنفاق و الحدود السياسية والحدود الإدارية ...الخ. في حالة استخدام الرموز الخطية للتعبير عن الظاهرات الكمية فأن سمك (عرض) الخط يدل علي قيمة الظاهرة، فكمثال يمكن تغيير سمك الخطوط المعبرة عن الطرق بحيث يمثل سمك الخط عرض الطريق وبذلك يمكن التفرقة بين الطرق السريعة و الطرق العادية و الشوارع الداخلية. أيضا يمكن استخدام الألوان المتعددة للحصول علي رموز خطية جديدة لنفس الخط المرسوم علي الخريطة.



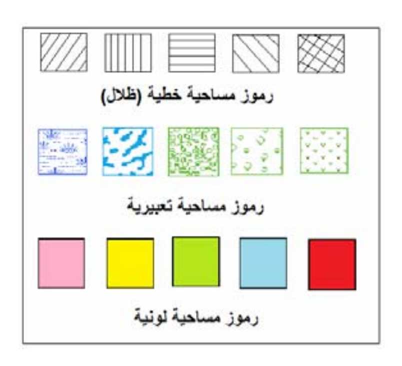
شكل (٢-٥٥) رموز خطية

٢-٨-٣ الرموز المساحية:

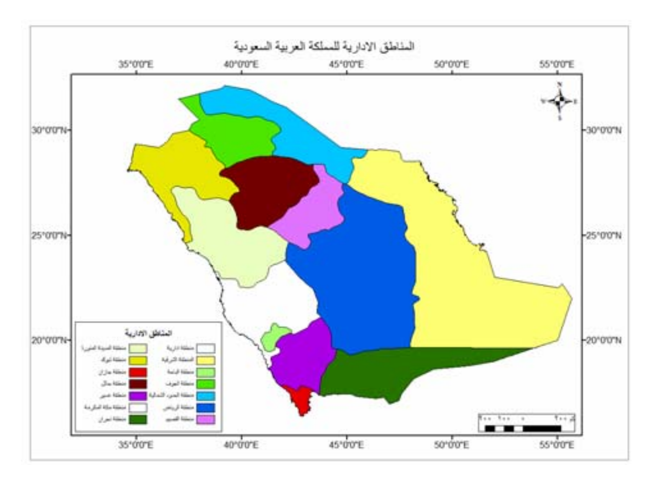
تستخدم الرموز المساحية للتعبير عن نوع وكمية الظاهرات التي لها مساحة علي الخريطة (وأيضا في الطبيعة) مثل الأحياء داخل المدينة و المزارع والسبخات ومناطق الرعي و المناطق الصناعية والسكنية... الخ. تعتمد الرموز المساحية علي ملئ المضلع المرسوم علي الخريطة برمز معين يعبر عن هذا النوع من الظاهرات.

عند تمثيل الظاهرات المكانية تمثيلا نوعيا علي الخرائط فهناك عدة طرق للرموز المساحية منها:

- رموز مساحية نوعية خطية (طريقة التظليل أو الظلال).
- رموز مساحية نوعية تعتمد علي الألوان.
- رموز مساحية نوعية نقطية.
- رموز مساحية نوعية تستخدم الأشكال الهندسية.
- رموز مساحية نوعية تعبيرية.



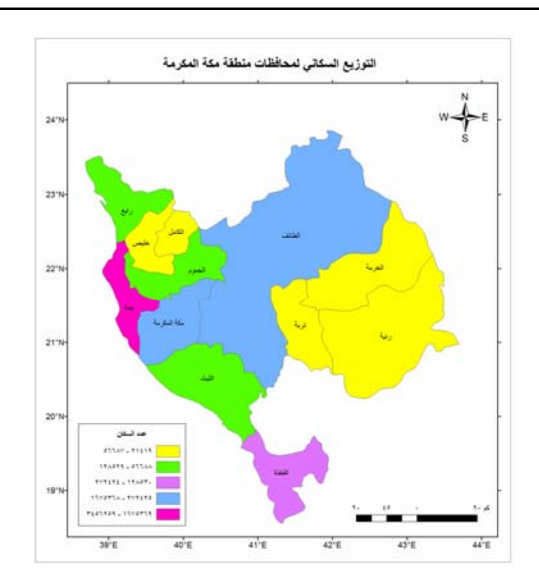
شكل (٢-٥٦) رموز مساحية نوعية



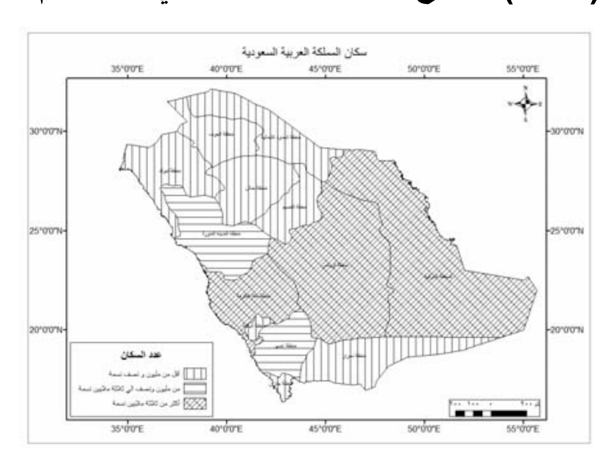
شكل (٢-٥٧) نموذج لطريقة التمثيل النوعي باستخدام الألوان

أيضا عند تمثيل الظاهرات المكانية تمثيلا كميا علي الخرائط فهناك عدة طرق للرموز المساحية منها:

- رموز مساحية نوعية خطية (طريقة التظليل أو الظلال).
- رموز مساحية نوعية تعتمد علي الألوان.
- رموز مساحية نوعية نقطية.
- رموز مساحية نوعية تستخدم الأشكال الهندسية.



شكل (٢-٥٨) نموذج لطريقة التمثيل الكمي باستخدام الألوان



شكل (٢-٥٩) نموذج لطريقة التمثيل الكمي باستخدام الظلال

٢-٨-٤ مفتاح الخريطة

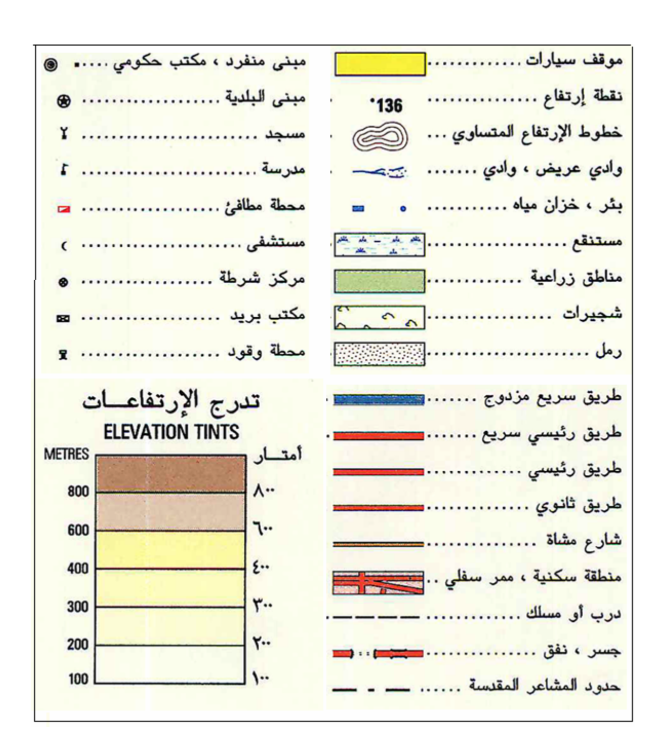
تعرف الخريطة علي أنها تمثيل مصغر لسطح الأرض مرسوم باستخدام رموز خاصة، ولذلك فأن مفتاح الخريطة هو ترجمة لهذه الرموز الظاهرة علي الخريطة لكي يسهل فهم و تفسير الخريطة و ما تمثله من ظاهرات مكانية. يعتمد نجاح الخريطة علي نجاح مصممها في اختيار الرموز السهلة و المعبرة، فالرموز علي الخريطة تدل علي:

- مواقع الظاهرات الجغرافية
- أشكال الظاهرات الجغرافية
- نمط انتشار الظاهرات الجغرافية
- ديناميكية الظاهرات الجغرافية

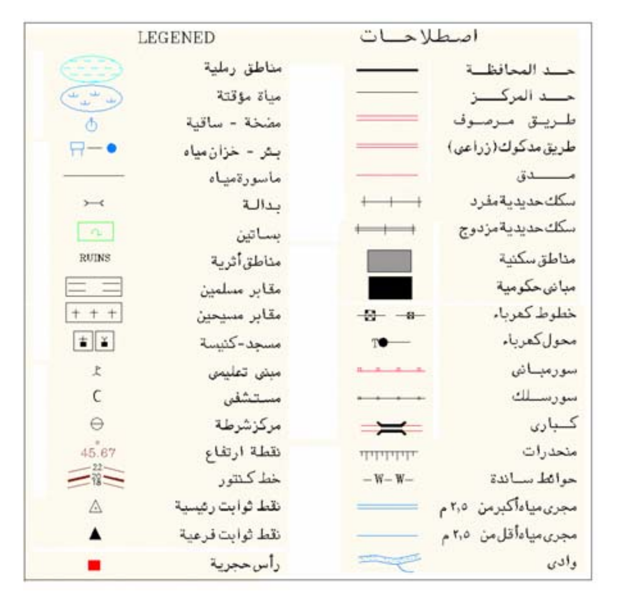
تقوم الجهات المسئولة عن إنتاج الخرائط في كل دولة بوضع و تصميم مفاتيح قياسية للخرائط طبقا لنوع الخريطة و مقياس رسمها. قد تختلف الرموز المستخدمة في مفتاح الخريطة من دولة لأخرى، إلا أن الاستفادة من هذه النماذج القياسية تزيد من خبرة مصمم الخريطة. الأشكال التالية تعطي نماذج لمفاتيح الخرائط في كلا من جمهورية مصر العربية و المملكة العربية السعودية والولايات المتحدة الأمريكية.



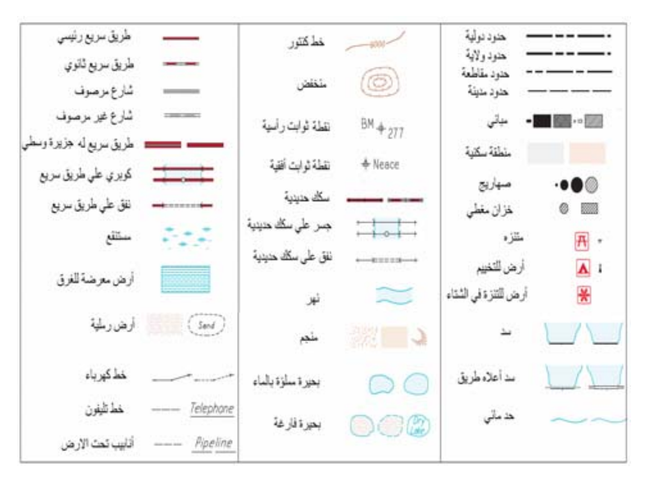
شكل (٢-٦٠) نموذج لمفتاح الخريطة المليونية في السعودية



شكل (٢-٦١) نموذج لمفتاح الخريطة الطبوغرافية مقياس رسم ١ : ٥٠،٠٠٠ في السعودية



شكل (٢-٦٢) نموذج لمفتاح الخريطة التفصيلية مقياس رسم ١ : ٥٠٠٠ في مصر



شكل (٢-٦٣) نموذج لمفتاح الخريطة الطبوغرافية مقياس رسم ١ : ٢٥،٠٠٠ في أمريكا

٢-٩ تصميم الخريطة:

إن الكارتوجرافيا هي علم و فن إعداد الخرائط كما سبق تعريفها، فهي كعلم تعتمد علي قواعد و أسس رياضية لضمان أن الخريطة تمثل وبدقة الواقع الحقيقي علي سطح الأرض. وعلي الجانب الآخر فان إعداد خريطة "جيدة" يتطلب رؤية فنية لها بهدف أن تتمتع الخريطة بمظهر جمالي مناسب وأن تستطيع نقل المعلومات الممثلة عليها بطريقة سهلة و سريعة لعين قارئ أو مستخدم الخريطة. لذلك فعلي الكارتوجرافي أن يضع في ذهنه حقيقة هامة ألا و هي كيف يصمم خريطة "جيدة و مريحة و سهلة الاستنباط" تؤدي الغرض الأساسي المطلوب منه، وهذا ما يسمي بالاتصال الخرائطي أي الاتصال الذهني بين منشأ الخريطة و مستخدمها. ومع أنه لا توجد قواعد علمية ثابتة لكيفية تصميم الخريطة برؤية فنية و جمالية، إلا أن هذا الفصل يحاول أن يقدم بعض الخطوط العريضة لعملية تصميم الخرائط من حيث اختيار العناصر الظاهرة علي الخريطة وكيفية عرض محتويات الخريطة من حيث الموضع أو الحجم وأيضا اختيار الألوان المستخدمة في الخرائط.

٢-٩-١ عناصر محتوى الخريطة

قبل البدء في إعداد تصميم للخريطة يقوم الكارتوجرافي بتحديد العناصر التي سيتم إظهارها علي هذه الخريطة (بخلاف المحتوي الجغرافي لها). فالخرائط تحتوي علي عدد كبير من العناصر سواء الأساسية أو المساعدة أو المتممة والتي قد تختلف من خريطة لأخرى طبقا للهدف المنشود من الخريطة وأيضا مساحة ورقة الخريطة المطبوعة و مقياس رسمها. وتشمل عناصر محتوي الخريطة ما يلي:

(أ) عناصر رئيسية:

- العنوان الرئيسي للخريطة
- عنوان فرعي
- مفتاح الخريطة
- اتجاه الشمال
- شبكة الإحداثيات
- مسقط الخريطة

(ب) عناصر ثانوية:

- مصادر بيانات الخريطة
- أشكال بيانية

- جداول بيانية
- خرائط مصغرة
- تاريخ إنتاج الخريطة
- جهة إنتاج الخريطة
- شعار الجهة المنشأة للخريطة
- صور فوتوغرافية
- رقم الخريطة
- حقوق الملكية
- نصوص أخري

ويبدأ الكارتوجرافي عمله بسؤال: ما هي العناصر الهامة للخريطة قيد الإعداد؟ وتختلف إجابة هذا السؤال من خريطة لأخرى بطبيعة الحال. وربما يضع الكارتوجرافي نفسه مكان قارئ الخريطة ليسأل: هل كان ضروريا وجود هذا العنصر علي الخريطة؟. وحديثا ومع توافر تقنيات و برامج حاسوبية لإعداد الخرائط فيمكن للكارتوجرافي إعداد عدة "تصاميم" مختلفة للخريطة قبل إنشاؤها فعليا ليقرر ما هو التصميم الأمثل وما هي العناصر المناسبة لهذه الخريطة.

٢-٩-٢ عرض محتويات الخريطة

يختلف موضع و حجم كل عنصر من عناصر محتوي الخريطة من حيث الأهمية ومن حيث توفير قدر أكبر من الاتصال الخرائطي. وبالتالي فأن "رؤية" الكارتوجرافي و خبرته الفنية تؤثر بدرجة كبيرة علي المظهر الجمالي النهائي للخريطة. وسنستعرض هنا خطوطا عريضة لكيفية تنفيذ كل عنصر من عناصر الخريطة بصورة كارتوجرافية مناسبة.

عنوان الخريطة:

يعد عنوان الخريطة أهم أساسياتها حيث أنه يدل علي محتوي و هدف تطوير الخريطة والمنطقة الجغرافية التي تمثلها (للخريطة العامة) أو الظاهرة الرئيسية التي تبرزها (للخريطة الموضوعية). يجب أن يكون العنوان مناسبا و دالا علي المعلومة الرئيسية التي يقدمها لمستخدم الخريطة، فلا يجب أن يكون طويلا جدا أو قصيرا جدا. أما موضع العنوان علي الخريطة فهناك عدة مواضع يمكن الاختيار فيما بينهم كما في الشكل التالي:



شكل (٢-٦٤) مواضع شائعة لعنوان الخريطة

مفتاح الخريطة:

مفتاح الخريطة أيضا من أهم عناصرها الأساسية فهو الذي يقدم تعريفا لكافة الرموز المستخدمة علي الخريطة و ما يمثله كل رمز. يتكون مفتاح الخريطة من مجموعة من الرموز و بجوار كل رمز (غالبا علي يساره) نص يدل علي معناه. في حالة وجود عدة رموز يتم ترتيبهم أما أفقيا أو رأسيا سواء في عمود واحد أو في عدة أعمدة طبقا لمساحة المفتاح علي الخريطة ذاتها. وقد يوضع نص "مفتاح الخريطة" أو نص "مصطلحات الخريطة" في الجزء العلوي من مساحة المفتاح. وقد يوضع مفتاح الخريطة في أسفلها أو علي أحد طرفيها.

اتجاه الشمال:

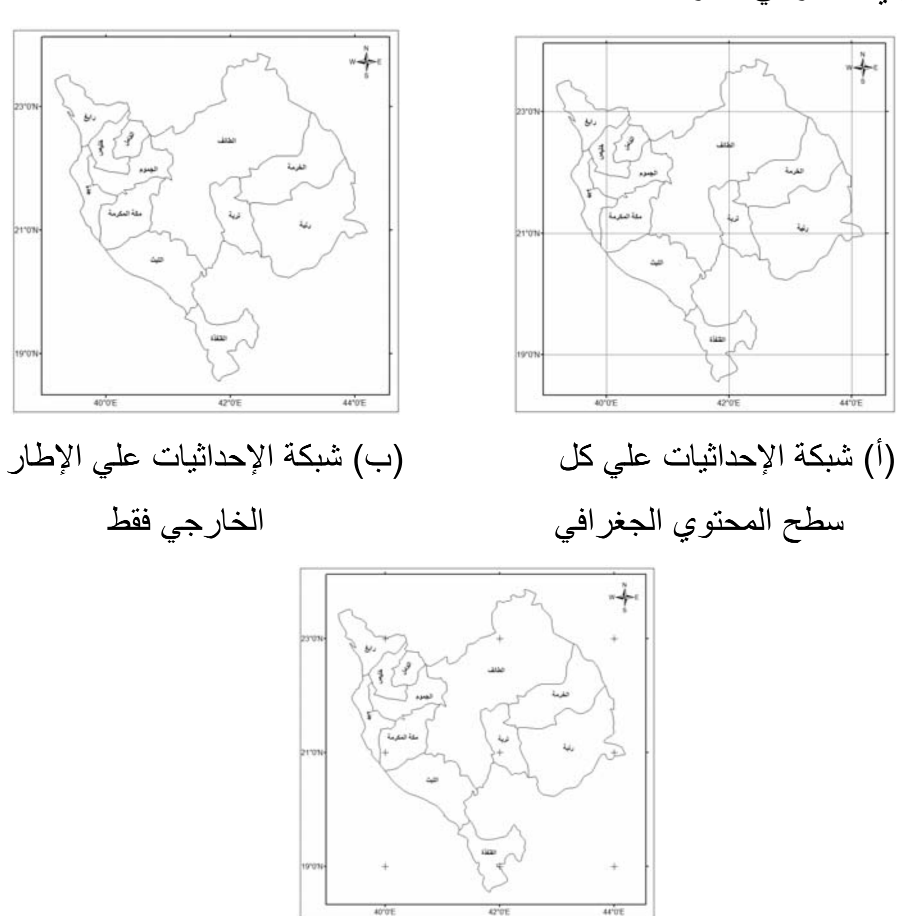
يوضع اتجاه (أو سهم) الشمال في الجزء العلوي من الخريطة بصفة عامة سواء علي يمينها أو يسارها. وقد يوضع داخل المحتوي الجغرافي للخريطة أو خارجه، علي أن يكون ذا حجم مناسب يوضح لمستخدم الخريطة كيفية توجيه الخريطة بسهولة و سرعة. ويري بعض الكارتوجرافيين عدم أهمية وضع اتجاه الشمال علي الخرائط طالما وجدت شبكة الإحداثيات حيث أن هذه الشبكة تدل علي كيفية توجيه الخريطة، إلا أن وجود سهم الشمال يساعد مستخدم الخريطة - وبمجرد النظر- علي سرعة توجيها دون أية خطوات تفصيلية.

مقياس الرسم:

سواء كان كتابيا أو خطيا فأن مقياس رسم الخريطة من مكوناتها الأساسية فهو الذي يسمح بمعرفة العلاقة بين أية قياسات علي الخريطة و ما تمثله في الطبيعة علي سطح الأرض. ومن الأفضل وضع مقياس رسم كتابي وآخر خطي علي نفس الخريطة، بل أحيانا يكون من المناسب وضع مقياسي رسم خطيين يختلفان في وحدات القياس (أحدهما بالكيلومترات و الآخر بالأميال) علي نفس الخريطة. وغالبا يوضع مقياس الرسم في الجهة السفلي من الخريطة.

<u>شبكة الإحداثيات:</u>

تمثل خطوط الطول و دوائر العرض (في نظام الإحداثيات الجغرافية) أو قيم الإحداثيات الشرقية و الإحداثيات الشمالية (في نظم الإحداثيات المسقطة أو المترية) التي تغطي كامل سطح المحتوي الجغرافي للخريطة. وتوجد عدة نماذج لشبكات الإحداثيات مثل أن تكون الشبكة مرسومة علي الإطار الخارجي فقط، أو تكون مرسومة علي كل سطح المحتوي الجغرافي، أو مرسومة علي الإطار الخارجي مع وضع علامات عند نقاط تقاطع الإحداثيات علي المحتوي الجغرافي للخريطة:



(أ) شبكة الإحداثيات علي كل سطح المحتوي الجغرافي

(ب) شبكة الإحداثيات علي الإطار الخارجي فقط

(ج) شبكة الإحداثيات علي الإطار الخارجي مع وضع علامات عند نقاط تقاطع الإحداثيات

شكل (٢-٦٥) نماذج شبكات الإحداثيات علي الخريطة

<u>العناوين الفرعية:</u>

يشمل العنوان الفرعي معلومة أخري عن الخريطة تكون أقل أهمية من العنوان الرئيسي للخريطة لكنها مازالت تمثل أهمية ضرورية لفهم الخريطة فهما كاملا. فعلي سبيل المثال فأن اسم الجهة المنتجة للخريطة يمثل عنوانا فرعيا لها حيث أنه يقدم لمستخدم الخريطة

معلومة هامة عن مصداقية هذه الخريطة فقارئ الخريطة سيتحقق من مصداقيتها عندما يعرف أنها من جهة حكومية مسئولة عن إنتاج الخرائط الرسمية في هذه الدولة. غالبا يوضع العنوان الفرعي (إن وجد) أسفل العنوان الرئيسي للخريطة مع استخدام بنط أقل في كتابة نصه.

جهة و تاريخ إنتاج الخريطة:

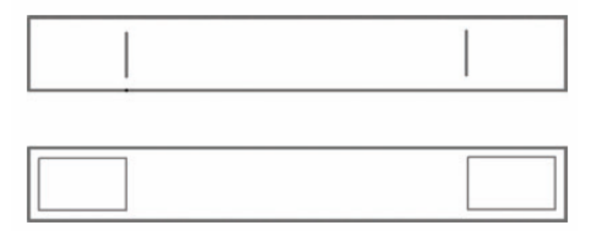
من المعلومات الهامة علي الخريطة أن يعرف مستخدم الخريطة اسم الجهة التي قامت بإنتاجها و تاريخ الإنتاج. فالخريطة تمثيل للواقع الموجود في لحظة زمنية معينة، فقد نجد خريطتين مختلفتين لنفس المنطقة أو نفس الظاهرة بسبب أن كلا منهما قد تم تطويرها في تاريخ محدد يختلف عن الخريطة الأخرى. عادة يوضع نص جهة و إنتاج الخريطة في أسفلها سواء من جهة اليمين أو من جهة اليسار.

حقوق ملكية الخريطة:

عادة في الخرائط الحكومية يوضع نص علي الخريطة يحدد الحقوق الفكرية لملكية الخريطة بحيث تعود هذه الحقوق للجهة التي أنتجت الخريطة. وغالبا تكون حقوق الملكية - إن وجدت - في أسفل الخريطة.

إطار محتويات الخريطة:

غالبا فأن عناصر محتويات الخريطة يتم جمعهم في إطار (مستطيل أو مربع) واحد وعادة يوضع في أسفل الخريطة. وقد يكون الإطار مقسما الي أجزاء باستخدام الخطوط الرأسية أو يحتوي علي إطارات أخري داخلية لكل عنصر من عناصر المحتوي.



شكل (٢-٦٦) مواضع إطار عناصر الخريطة

مصادر بيانات الخريطة:

قد توضع علي الخريطة معلومات عن مصادر البيانات التي تم استخدامها في إنتاج هذه الخريطة، وغالبا يكون موضع هذه النصوص في أسفل الخريطة أو علي أحد طرفيها.

شعار الجهة المنشأة للخريطة:

غالبا تقوم الجهة المنتجة للخريطة بوضع شعارها (رسم أو لوجو) إضافة لاسمها علي الخريطة، ومن الأفضل أن يكون الشعار بحجم مناسب و موضوعا بجانب اسم الجهة في أسفل الخريطة.

<u>أشكال و جداول بيانية:</u>

في الخرائط الموضوعية وخاصة خرائط التوزيعات الكمية قد يكون مناسبا وضع بعض الأشكال و الجداول البيانية التي تعطي معلومات إحصائية عن الظاهرة (أو الظاهرات) الممثلة علي الخريطة. وعادة توضع هذه الأشكال البيانية وبحجم مناسب علي أحد جانبي الخريطة.

<u>صور فوتوغرافية:</u>

تفيد الصور الفوتوغرافية في جعل مستخدم الخريطة يري الواقع والصورة الحقيقية لبعض معالم الخريطة، وعادة تستخدم الصور الفوتوغرافية لإضفاء قدر أكبر من المظهر الجمالي علي الخريطة خاصة الخرائط السياحية و التعليمية.

<u>رقم الخريطة:</u>

يكون لكل خريطة رقم محدد في حالة تطوير سلسلة أو مجموعة من الخرائط، ومن ثم يوضع رقم الخريطة - إن وجد - مع العناصر الأخرى للخريطة.

<u>مسقط الخريطة:</u>

مسقط الخريطة أحد أهم عناصر الأساس الرياضي الذي بنيت عليه الخريطة، ومن ثم فيجب وضع نص يدل علي نوع مسقط الخريطة. عادة يوضع مسقط الخريطة بجوار (أو أسفل) مقياس رسمها.

<u>خرائط مصغرة:</u>

في أحيان كثيرة يحتاج الكارتوجرافي لوضع خريطة مصغرة علي الخريطة بهدف (١) بيان الموقع الجغرافي العام للمحتوي الجغرافي للخريطة الأصلية، (٢) تكبير جزء من الخريطة الأصلية لبيان تفاصيل أكثر عنه. عادة توضع الخرائط المصغرة في أعلي الخريطة الأصلية في أحد جانبيها.

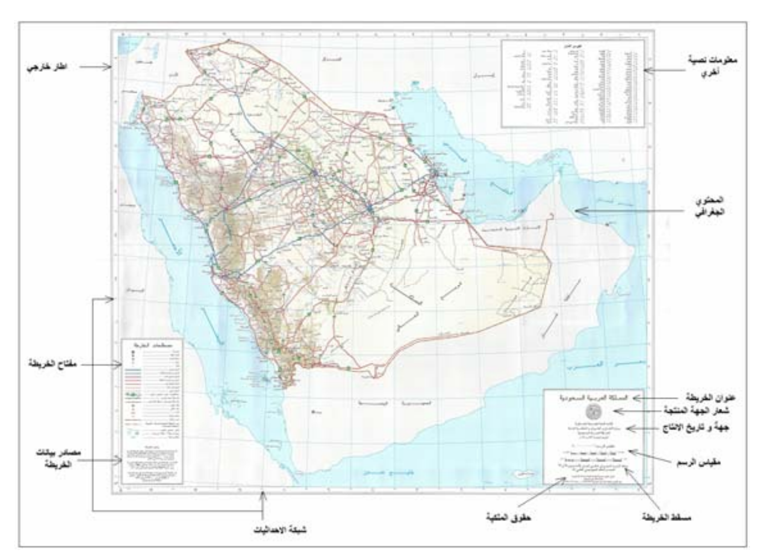


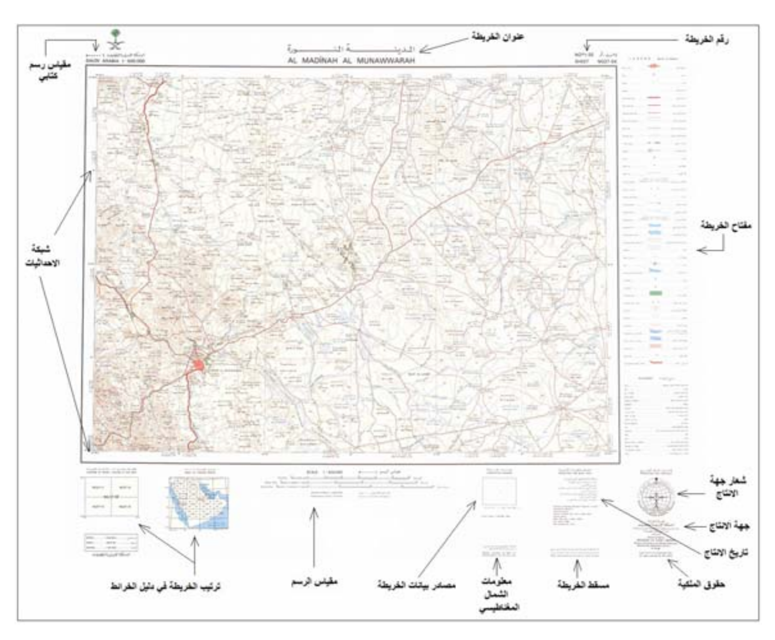
شكل (٢-٦٧) نماذج للخرائط المصغرة

<u>إطار الخريطة:</u>

عادة يوضع إطار شامل يضم كافة محتويات الخريطة سواء المحتوي الجغرافي لها و كافة عناصر الخريطة.

لا يوجد نظام محدد لترتيب مواضع العناصر التي تتكون منها الخريطة، إنما تخضع عملية التصميم لخبرة الكارتوجرافي و رؤيته الفنية و الجمالية. وكلما كانت الخريطة بسيطة و تتمتع بتناسق كبير بين أحجام عناصرها و الألوان المستخدمة فيها كلما كانت أكثر جودة وكلما حققا قدرا أكبر من الاتصال الخرائطي بين الكارتوجرافي و مستخدم الخريطة. والأشكال التالية تقدم نماذج لبعض الخرائط و أساليب تصميمها.

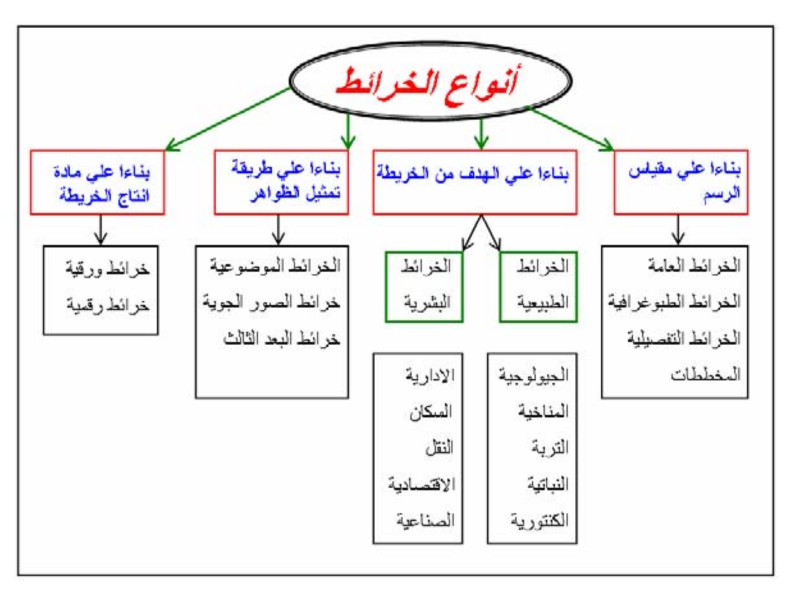




شكل (٢-٦٨) نماذج لتصميم و إخراج الخرائط

٢-١٠ تصنيف الخرائط:

تتعدد أنواع الخرائط بصورة كبيرة جدا نظرا لأهميتها و تعدد استخداماتها في المجالات العلمية و التطبيقات العملية بصورة كبيرة. ومن الممكن القول أنه تقريبا لا يوجد الآن تخصص علمي لا يستخدم نوعا من أنواع الخرائط بصورة أو بأخرى. ومع ذلك فيمكن - بصورة عامة - وضع تقسيمات للخرائط بناءا علي أربعة عناصر: مقياس الرسم، الهدف من الخريطة، طرق تمثيل الظواهر، المادة المتوفر عليها الخريطة.



شكل (٢-٦٩) أنواع الخرائط

أنواع الخرائط بناءا علي مقياس الرسم:

يعرف مقياس الرسم - بصورة مبسطة - بأنه نسبة تصغير الواقع الحقيقي على الخريطة، فلا يمكن رسم المنطقة الجغرافية بنفس أبعادها الحقيقية علي الخريطة. وكمثال إذا كان لدينا طريق علي الأرض طوله الحقيقي خمسة كيلومترات ورسمناه علي الخريطة كخط طوله خمسة سنتمترات فأن مقياس الرسم هنا يصبح أن كل سنتيمتر علي الخريطة يمثل أو يساوي واحد كيلومتر علي الطبيعة. والعلاقة بين قيمة مقياس الرسم و مساحة المنطقة الجغرافية الممثلة علي الخريطة هي علاقة عكسية، بمعني أنه كلما كبرت مساحة المنطقة الجغرافية كلما صغر مقياس رسم الخريطة وكلما صغرت مساحة المنطقة الجغرافية كلما كان مقياس الرسم أكبر. ولأهمية مقياس الرسم في الخرائط و تعدد تطبيقاته فسيتم إفراد فصل مستقل له.

طبقا لمقياس رسم الخريطة فيمكن تصنيف أو تقسيم أنواع الخرائط الي عدة أقسام تشمل:

الخرائط العامة: ويطلق عليها أيضا اسم الخرائط الجغرافية والخرائط الأطلسية، وهي خرائط صغيرة المقياس (أي أنها تمثل مساحات كبيرة من سطح الأرض) تستخدم لتمثيل الدول و القارات. وإذا استخدمت الخريطة العامة لتمثيل العالم كله فتسمي الخرائط العالمية، ومن أشهر

أنواع الخرائط العامة ما يطلق عليه الخرائط المليونية والتي يكون مقياس رسمها أن كل وحدة علي الخريطة تمثل مليون وحدة علي الطبيعة. وحيث أن الخريطة العامة تمثل جزء كبير من سطح الأرض فأنها لا تتسم بإظهار أية تفاصيل المعالم الجغرافية فهي تبرز فقط المعالم المكانية الرئيسية الموجودة في هذه المنطقة الجغرافية. وغالبا تستخدم هذه الخرائط كوسائل تعليمية أو كوسائل إيضاح أو في الأطالس و الكتب الدراسية.

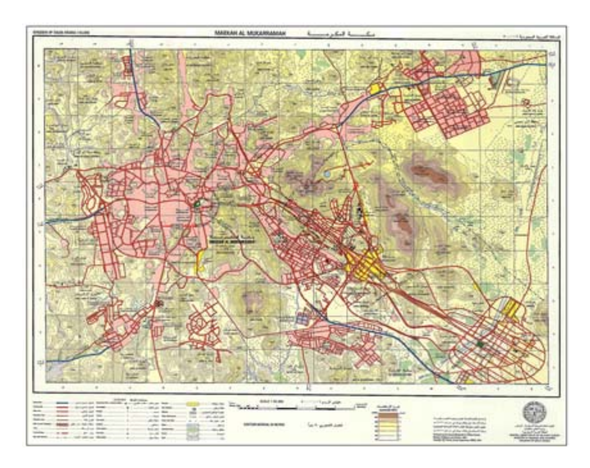
الخرائط الطبوغرافية: وهي خرائط متوسطة مقياس الرسم حيث أنها تمثل مساحات أو مناطق جغرافية متوسطة المساحة (مدينة مثلا) كما أنها تشتمل علي تفاصيل أكثر من تلك الموجودة في الخرائط العامة. وغالبا تظهر في الخرائط الطبوغرافية معالم تفصيلية للظاهرات الطبيعية و البشرية مثل البحيرات و الأنهار و الغابات و الكثبان الرملية و المدن و طرق المواصلات والأودية ...الخ. وهذا النوع من الخرائط هو الأكثر استخداما من قبل الجغرافيين و المخططين.

الخرائط التفصيلية: وهي خرائط تبرز تفاصيل المنطقة الجغرافية الممثلة علي الخريطة (ومن هنا جاء أسمها) ولذلك يكون مقياس رسمها كبير لحد ما. ويمكن ملاحظة التفاصيل في هذا النوع من الخرائط حيث تظهر التقسيمات العقارية والأحياء و الخدمات وشبكات النقل و المواصلات في خرائط المدن، وأيضا التقسيمات والملكيات الزراعية لخرائط الأرياف. كما يطلق علي هذا النوع من الخرائط اسم الخرائط الكادسترالية حيث أن كلمة "كادسترال Cadastre" في اللغة الانجليزية تعني تفاصيل الملكيات. وأكثر من يستخدم هذا النوع من الخرائط هم مسئولو البلديات والمحافظات و أمانات المدن في التطبيقات التخطيطية المتعلقة بالمدن و القري.

المخططات: وهي نوع من أنواع الخرائط التي تتسم بظهار كافة التفاصيل في منطقة صغيرة جدا، أي أنها خرائط كبيرة المقياس جدا. وغالبا فأن المهندسين هم أكثر من يستخدم هذه المخططات.



شكل (٢-٧٠) خريطة عامة للمملكة العربية السعودية



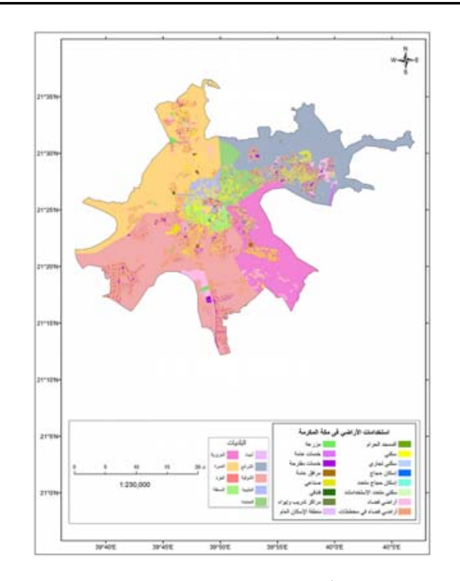
شكل (٢-٧١) خريطة طبوغرافية لمدينة مكة المكرمة

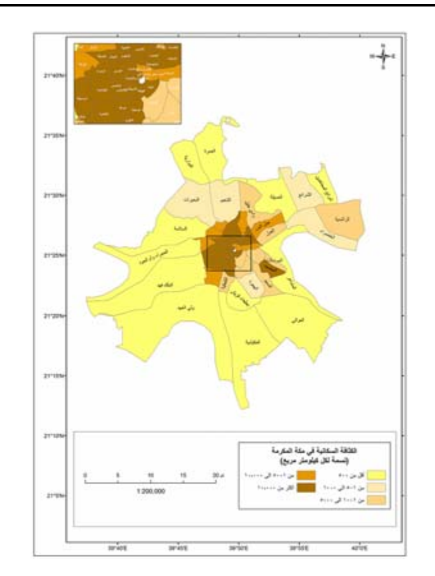
أنواع الخرائط بناءا على الهدف من الخريطة:

تصنف الخرائط طبقا للهدف أو الغرض الذي أنشأت من أجله الي مجموعتين رئيستين وهما الخرائط الطبيعية و الخرائط البشرية. ويختلف مقياس رسم كل خريطة طبقا لمساحة المنطقة الجغرافية الممثلة عليها، أي أن هذا التقسيم أو التصنيف للخرائط لا يعتمد علي مقياس رسم الخريطة.

الخرائط الطبيعية: تتناول تمثيل المظاهر الجغرافية الطبيعية الموجودة علي سطح الأرض، وغالبا فأن كل خريطة تهتم بإبراز تفاصيل نوع واحد من المظاهر الطبيعية. ومن أمثلة الخرائط الطبيعية: الخرائط الجيولوجية، الخرائط المناخية، الخرائط النباتية، خرائط التربة، الخرائط الكنتورية (التضاريسية).

الخرائط البشرية: وهي التي تتناول تمثيل المظاهر الجغرافية البشرية الموجودة علي سطح الأرض. ومن أمثلة الخرائط البشرية: الخرائط السياسية التي تحدد الحدود السياسية بين الدول، والخرائط الإدارية التي تحدد الحدود بين المناطق الإدارية مثل المحافظات و المراكز، وخرائط شبكات النقل و المواصلات، و الخرائط السكانية التي تبرز التوزيع المكاني للسكان والنمو السكاني والهجرة السكانية، والخرائط الاقتصادية، والخرائط الصناعية، والخرائط التعدينية، والخرائط الزراعية التي تمثل التركيب المحصولي ومناطق التوسع الزراعي، وخرائط التربة.





استخدامات الأرض في مدينة مكة المكرمة الكثافة السكانية في مدينة مكة المكرمة

شكل (٢-٧٢) نماذج للخرائط الطبيعية و البشرية

<u>أنواع الخرائط بناءا علي طرق تمثيل الظاهرات:</u>

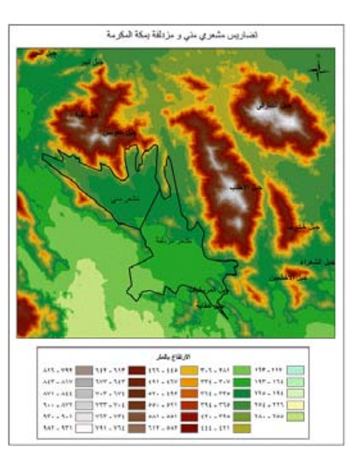
يمكن أيضا تصنيف الخرائط طبقا للطرق المستخدمة في تمثيل المظاهر الممثلة علي الخريطة، وفي هذا التقسيم للخرائط نجد الخرائط الجوية و خرائط البعد الثالث و الخرائط الموضوعية.

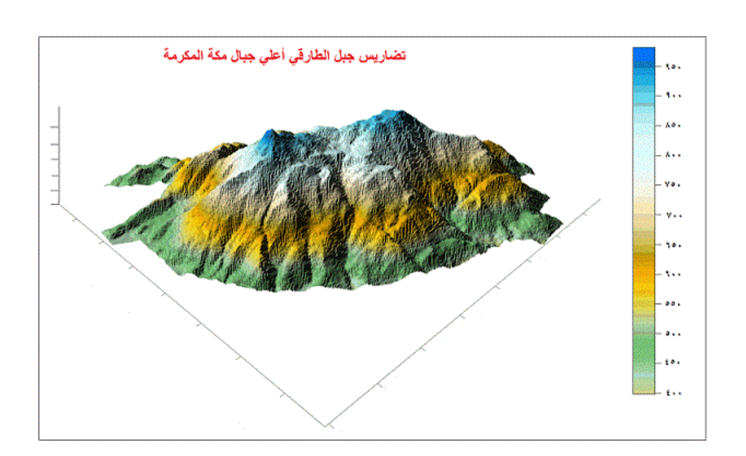
<u>الخرائط الجوية أو خرائط الصور الجوية:</u> بالرغم من وجود بعض الاختلافات العلمية بين الخريطة و الصورة الجوية (الملتقطة بكاميرا مثبتة في طائرة) إلا أن الصورة الجوية في حد ذاتها تمثل نوعا من الخرائط التي تبرز - بمقياس رسم محدد - جميع الظواهر و المعالم الجغرافية في منطقة من سطح الأرض. ومن ثم فأن الصور الجوية المتجاورة لمنطقة مكانية معينة يمكن اعتبارها خريطة تفصيلية لهذه البقعة الجغرافية. فإذا تم تجميع عدة صور متجاورة لمنطقة فأن الصورة المجمعة يطلق عليها اسم الموزايك أو الفسيفساء، وهي تمثل أحد أنواع الخرائط. ومع انتشار تطبيقات التصوير من الفضاء بالأقمار الصناعية (تقنية الاستشعار عن بعد) فأنه يمكن أيضا استخدام المرئيات الفضائية في تطوير هذا النوع من الخرائط. ويختلف مقياس رسم هذا النوع من الخرائط باختلاف مقياس رسم الصور الجوية أو المرئيات الفضائية المستخدمة، فقد نجد خريطة جوية كبيرة المقياس لمدينة وأيضا نجد خريطة جوية صغيرة المقياس لمحافظة أو منطقة كبيرة من سطح الأرض.

<u>خرائط البعد الثالث:</u> وهي خرائط تهتم بإبراز و تمثيل البعد الثالث وهو الارتفاعات، حيث أن معظم الخرائط العادية لا تبرز إلا بعدين فقط (الطول و العرض أو س و ص) للمعالم الجغرافية

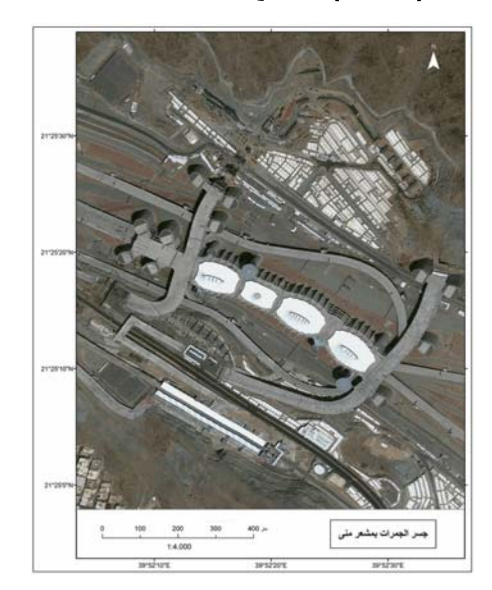
الممثلة عليها. وتوجد عدة أنواع من خرائط البعد الثالث مثل الخرائط الكنتورية و الخرائط المجسمة.

الخرائط الموضوعية: تمثل الخريطة العامة كافة المعالم الجغرافية سواء الطبيعية أو البشرية الموجودة في منطقة مكانية محددة من سطح الأرض. إلا أننا نحتاج في بعض التطبيقات الي خريطة تهتم بإبراز تفاصيل نوع واحد معين من هذه المظاهر أو المعالم، وهذا النوع من الخرائط يسمي الخرائط الموضوعية حيث أن كل خريطة تهتم بموضوع واحد فقط، كما أنها أيضا تسمي بالخرائط الخاصة حيث أن كل خريطة تختص بظاهرة محددة، وأيضا تسمي بخرائط التوزيعات حيث أن هذه الخرائط تبرز توزيع ظاهرة معينة طبيعية كانت أم بشرية.





شكل (٢-٧٣) نماذج لخرائط البعد الثالث



شكل (٢-٧٤) نموذج للخرائط الجوية

أنواع الخرائط بناءا على مادة إنتاجها:

ظلت الخريطة الورقية لمئات السنين هي النوع الوحيد لإنتاج و تمثيل الخرائط و رسمها علي قطعة من الورق. وفي منتصف القرن العشرين الميلادي و مع ابتكار الكمبيوتر أو الحاسوب ظهرت الخريطة الرقمية أو الخريطة الالكترونية. وكان هذا ثورة علمية هائلة في علم الكارتوجرافيا وصناعة الخرائط حيث أصبح رسم و تعديل و تصميم و تخزين و تحليل الخرائط يتم في صورة رقمية باستخدام برامج كمبيوتر متخصصة، وأصبحت الخريطة الرقمية عبارة عن ملفات الكترونية متاحة في صور متعددة مثل الأقراص المدمجة CD و وسائل التخزين المحمولة (الفلاش ميموري).

خلقت الخرائط الرقمية تحديا علميا للكارتوجرافيين في الوقت الحالي، فالكارتوجرافي يجب أن يتعامل مع أجهزة و برامج و تقنيات الخرائط الرقمية لما توفره من مميزات هائلة في السرعة و الدقة و الجودة لهذا النوع من الخرائط. بل أننا يمكننا القول أن معظم إن لم يكن كل الخرائط المنتجة الآن هي خرائط رقمية.

وتعدي الأمر ذلك بعد أن توافرت الخرائط (بكافة أنواعها) علي شبكة الانترنت مما يجعل الحصول علي أي خريطة لأي بقعة في العالم شيئا ميسورا. ومن أشهر تطبيقات الكمبيوتر في الخرائط الرقمية برنامج جوجل ايرث Google Earth وموقع ويكي مابيا علي شبكة الانترنت في الرابط:

http://wikimapia.org

وأيضا موقع خرائط نوكيا والتي أصبحت خرائط رقمية يمكن تحميلها علي أجهزة الهاتف المحمول (الجوال) في الرابط:

http://www.nokia.com/maps

كما قامت عدة جهات عربية بتطوير مواقع خرائطية تعرض الخرائط التفصيلية لمدينة معينة علي شبكة الانترنت، ومن أمثلة هذه المواقع:

مستكشف مدينة مكة المكرمة في الرابط:

http://maps.holymakkah.gov.sa/

مستكشف مدينة الرياض في الرابط:

http://gis.alriyadh.gov.sa/riyadhexplorer/

مستكشف مدينة القاهرة في الرابط:

http://www.cairo.gov.eg/1.aspx

٢-١١ الكارتوجرافيا الرقمية:

حديثا أصبحت الكارتوجرافيا تتعامل مع الانتشار السريع لتقيات المعلومات ومن ثم أصبحت علما حيويا لكل فرد وليس فقط في التطبيقات العلمية. فالمهارات الكارتوجرافية هي من تتحكم الآن في البيانات وطرق عرضها بل و طرق استخدامها وتخطت مرحلة الكارتوجرافيا الورقية لتدخل مرحلة الكارتوجرافيا الرقمية مع انتشار تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية GIS. إن الكارتوجرافيا الرقمية ومع أنها تحافظ علي الخصائص الرئيسية للكارتوجرافيا التقليدية إلا أنها تتميز بنقاط جديدة تشمل:

- تخزين البيانات: أصبح في صورة رقمية علي الوسائط المغناطيسية (مثل الأقراص المدمجة و القرص الصلب).
- عرض البيانات: أصبح أيضا يتم علي الوسائل الرقمية (مثل الشاشات) مع وجود إمكانية الطباعة التقليدية علي الورق.
- مقياس الرسم: اختلافا عن الكارتوجرافيا التقليدية فقد أصبح عرض البيانات يتم بأي مقياس رسم حيث يمكن أن يتغير مقياس رسم الخريطة الرقمية بصورة لحظية علي الشاشة (التكبير و التصغير zoom in, zoom out).
- العمليات الكارتوجرافية: بعكس الكارتوجرافيا التقليدية فأن الكارتوجرافيا الرقمية تمكن المستخدم من إجراء عمليات الاختيار و التصنيف و التحليل الإحصائي والمكاني للأهداف أو المعالم بصورة آلية سريعة.
- طبيعة البيانات المكانية: كانت الكارتوجرافيا التقليدية تتعامل مع البيانات المكانية من خلال بعديها الأفقيين (مع إمكانية وجود خطوط الكنتور لتمثيل الارتفاعات أو البعد الثالث)، إلا أن الكارتوجرافيا الرقمية تتعامل مع الإحداثيات ثلاثية الأبعاد لكل هدف أو معلم بصورة تكاملية.
- تمثيل البعد الرابع: مكنت الكارتوجرافيا الرقمية مستخدميها من إضافة البعد الرابع (الزمن) للمتغيرات المكانية من خلال التعامل مع بيانات مختلفة التاريخ لنفس المنطقة المكانية، مما يسمح بمتابعة التغيرات الزمنية للظاهرات المكانية بصورة رقمية دقيقة.

الفصل الثالث

القياس من الصور الجوية

٣-١ مقدمة

القياس من الصور (أو المساحة التصويرية) Photogrammetry هي تقنية تسمح بقياس معلم دون لمسه، حيث تجري القياسات من خلال الصور سواء الصور الجوية أو الصور من الأقمار الصناعية. إلا أن التصوير باستخدام الأقمار الصناعية قد أطلق عليه حديثا مصطلح الاستشعار عن بعد، مع أن التصوير الجوي هو أول تقنية من تقنيات الاستشعار عن بعد.

٣-٢ نبذة تاريخية:

تعد الصور الجوية ابتكارا تقنيا غاية في الأهمية في تاريخ تقدم العلوم الجغرافية و الهندسية علي وجه الخصوص وعلوم أخري كثيرة. إن الصورة الجوية (الملتقطة بآلة تصوير في الجو) تمثل كما هائلا من المعلومات الدقيقة عن الواقع الجغرافي و المعالم المكانية في المنطقة التي تظهر بها. ومن ثم فأن هذه الصورة يمكن استخدامها في العديد من التطبيقات العملية مثل إنتاج الخرائط بطريقة اقتصادية رخيصة عند مقارنتها بطرق القياسات المساحية الميدانية باهظة التكاليف. ومنذ اختراع التصوير الجوي فطن علماء الخرائط و الجغرافيا و المساحة لأهميته الجمة ومميزاته المتعددة، وصار الآن أحد أهم وأدق و أسرع طرق الحصول علي المعلومات المكانية المستخدمة في الكثير من التخصصات و التطبيقات البيئية و الهندسية و التنموية علي المستوي العالمي.

بدأ الإنسان يفكر في ماهية الضوء منذ زمن بعيد جدا، وكان العالم الإغريقي أرسطو في القرن الثاني قبل الميلاد أول من بدأ البحث عن طبيعة الضوء وأول من أشار الي أن الضوء قد يمر من بعض الأجسام دون الأخرى. وفي القرن العاشر الميلادي (القرن الرابع الهجري) كان العالم الكبير الحسن بن الهيثم أول من أشار الي أن الضوء يأتي من الأجسام الي العين وليس العكس كما كان شائعا في نظريات أرسطو ومن سبقه، وأيضا كان أول من تعرض لتفسير وإجراء تجربة عملية لطريقة عمل آلة - تشبه فكرة آلة التصوير- عن طريق مرور الضوء من ثقب صغير الي حجرة مظلمة حيث تتكون صورة كل ما هو موجود علي الجانب الآخر. وفي عام ١٦٦٦ (١٠٧٦ هـ تقريبا) كان اسحق نيوتن أول من أشار الي أن الضوء

الأبيض - كما نراه - يمكن تحليله (من خلال المرور في منشور زجاجي) الي سبعة مكونات فرعية أو ألوان.

بدأ التصوير الضوئي في عام ١٨٣٩ (١٢٥٤ هـ) عندما قام كلا من نييس تالبوت و لويس داجور بأول عملية تصوير ضوئي أو تصوير فوتوغرافي حيث تم إسقاط الضوء علي صفائح معدنية مغطاة بمادة أيوديد الفضة كمادة حساسة للضوء. و كان العالم هيرشيل أو من استخدم مصطلح التصوير الضوئي أو الفوتوغرافيا photography وهو مشتق من مقطعين يونانيين: فوتو بمعني الضوء وجرافيا بمعني الرسم، أي أن الفوتوغرافيا هي الرسم بالضوء. أما أهم المراحل التاريخية في التصوير الجوي فقد بدأها الضابط الفرنسي ايمي لوسيه عندما بدأ في تثبيت آلة التصوير (الكاميرا) في بالون أو طائرة ورقية ترتفع عن سطح الأرض لتكون الصور الملتقطة لأول مرة من الجو وليس من علي سطح الأرض. وفي عام ١٨٥٩ (١٢٧٥ هـ) قام لوسيه بالتقاط عدد من الصور الجوية بكاميرا موضوعة في بالون ومن هذه الصور تمكن من عمل خريطة لمدينة باريس العاصمة الفرنسية، ولذلك يطلق علي هذا العالم اسم رائد علم التصوير الجوي والمساحة التصويرية.



شكل (٣-١) صورة جوية لمدينة بوسطن الأمريكية في عام ١٨٦٠ (١٢٧٦هـ)

تم اختراع الطائرة في عام ١٩٠٢ (١٣١٩ هـ) علي يد الأخوين أورفيل و ويلبر رايت، مما دفع بعلم التصوير الجوي خطوات تقنية واسعة جدا باستبدال البالون و المنطاد بالطائرة لتوضع الكاميرا داخلها ويتم التقاط الصور الجوية من خلالها. والتقطت أول صورة جوية من الطائرة في عام ١٩٠٩ (١٣٢٦ هـ) لمنطقة في ايطاليا. ومع قيام الحرب العالمية الأولي ١٩١٤-١٩١٩ (١٣٣٢-١٣٣٧ هـ) تم الاعتماد علي التصوير الجوي كأحد وسائل الاستطلاع و الاستخبارات العسكرية خلف خطوط العدو، مما زاد من أهمية هذا العلم في التطبيقات العسكرية

بصورة كبيرة. ودفعت أعمال الحرب العالمية الثانية (١٩٤١-١٩٥٥ الموافق ١٣٥٩-١٣٦٤ هـ) الي زيادة الاعتماد علي علوم التصوير الجوي والمساحة الجوية بهدف إنتاج الخرائط، مما ساعد علي تطور هذه العلوم و أجهزتها و معداتها من كاميرات و أفلام بصورة متسارعة. ومن هنا بدأ ظهور شركات تجارية متخصصة في أفرع التصوير الجوي و تطبيقاته، مثل شركة كوداك للكاميرات و الأفلام والتي تأسست في عام ١٩٤٢ (١٣٦٠ هـ).



شكل (٣-٢) نموذج لأول طائرة في التاريخ





شكل (٣-٣) التصوير الجوي

تقدم التصوير الجوي تقدما كبيرا مع اختراع الحاسبات الآلية في الخمسينات من القرن العشرين الميلادي، حيث تطورت بسرعة كبيرة أجهزة و معدات التصوير وتخزين و حفظ الصور الجوية الكترونيا و كذلك طرق إنتاج الخرائط المعتمدة علي الصور الجوية. ومع بداية الثمانينات من القرن العشرين الميلادي ظهر فرع المساحة التصويرية الرقمية Digital Photogrammetry كأحد فروع علم التصوير الجوي و إنتاج الخرائط اعتمادا علي الحاسبات الآلية. كما ظهر أيضا أحد تطبيقات الصور عالية الدقة واستخداماتها الهندسية وأطلق عليه اسم المسح التصويري الأرضي Terrestrial Photogrammetry، حيث توضع الكاميرا الدقيقة علي حامل ثلاثي علي الأرض لالتقاط صور للمعالم الجغرافية (خاصة المباني و المنشئات الهندسية) واستخدام هذه الصور بعد معالجتها في القياسات الهندسية لهذه المعالم.



شكل (٣-٤) المساحة التصويرية الرقمية



شكل (٣-٥) المسح التصويري الأرضي

<u>٣-٣ مميزات و تطبيقات الصور الجوية</u>

للصور الجوية العديد من المميزات و الخصائص التي تجعلها أداة تقنية مستخدمة في العديد من المجالات الهندسية و الجغرافية و البيئية و العسكرية، ومنها:

- تتميز الصورة الجوية بالدقة بصفة عامة مما يسمح بإجراء القياسات الدقيقة (مثل المسافات و المساحات) بدقة مناسبة.
- تغطي الصورة الجوية مساحة كبيرة من سطح الأرض مما يجعل من السهل والأرخص اقتصاديا رسم خريطة للمظاهر الجغرافية الموجودة.
- إنتاج الخرائط من الصور الجوية يستغرق وقتا أقل و بالتالي فهو أرخص تكلفة من استخدام القياسات المساحية الميدانية.
- توفر بعض أنواع من الصور الجوية صورة مجسمة ثلاثية الأبعاد للمعالم المكانية مما يسهل من التعرف علي طبيعة المظاهر بسرعة، وأيضا يوفر إمكانية رسم الخرائط الطبوغرافية التي تمثل تضاريس سطح الأرض.
- للصور الجوية الملتقطة في تواريخ متعددة ميزة أنها يمكننا من متابعة التغيرات الزمنية في المظاهر الجغرافية (مثل متابعة حركة الكثبان الرملية).
- توضح الصور الجوية معالم وخصائص لا يمكن للعين البشرية رؤيتها، خاصة عند التصوير بالأشعة تحت الحمراء (مثل التفرقة بين النبات السليم و النبات المريض في منطقة زراعية).
- الصورة الجوية لها مقياس رسم محدد مما يجعلها تبرز بدقة العلاقات المكانية بين الظواهر الجغرافية.
- الصور الجوية لا ترتبط بالواقع السياسي بين الدول حيث يمكن الحصول علي صور (شديدة الميل مثلا) لمنطقة حدودية بين دولتين.
- يمكن لبعض أنواع من الصور الجوية أن تبرز المعالم الموجودة تحت سطح الأرض علي أعماق بسيطة، مثل المياه الجوفية.
- تستطيع الصور الجوية إبراز المعالم المكانية في المناطق النائية التي لا يمكن للإنسان الوصول إليها بسهولة من سطح الأرض (مثل منطقة الربع الخالي في المملكة العربية السعودية).

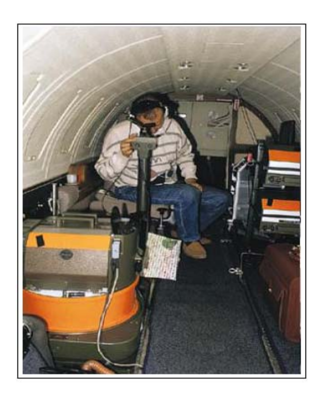
يعد إنتاج و تحديث الخرائط أهم تطبيقات التصوير الجوي في المجالين الجغرافي و الهندسي لما تتميز به الصور من خصائص الدقة و الشمولية ورخص التكلفة. وأصبح التصوير الجوي أهم تقنيات إنتاج و تحديث الخرائط التفصيلية و الطبوغرافية في الكثير من دول العالم.

كما يعد الاستفادة من الصور الجوية في تفسير المعالم الجغرافية و استنباط معلومات دقيقة و حديثة عنها من أهم تطبيقات الصور الجوية في عدد كبير من الأعمال و المشروعات التطبيقية و التنموية مثل:

- الزراعة: حصر مساحات مناطق المحاصيل المختلفة، تحديد النبات المريض أثناء فترة نموه، و عمليات مقاومة آفات النباتات في الوقت المناسب.
- التربة: تصنيف أنواع التربة و عمل الخرائط التي تبين أنواع التربة.
- البيئة: مراقبة التلوث البيئي، متابعة و مراقبة آثار انتشار الكوارث الطبيعية مثل الفيضانات.
- الجيولوجيا: تصنيف أنواع التراكيب الجيولوجية لسطح الأرض وعمل الخرائط الجيولوجية.
- الهندسة المدنية: تخطيط المشروعات الهندسية واختيار أنسب المواقع الجغرافية و تطوير خرائط استخدامات الأراضي.
- التخطيط العمراني: إعداد المخططات، تخطيط و متابعة تنفيذ مشروعات التوسع العمراني، تطوير خرائط استخدامات الأراضي.
- النقل: تخطيط المشروعات الجديدة لشبكات الطرق و الجسور و الأنفاق و السكك الحديدية.
- السكان: أعمال الحصر في تعدادات السكان و المساكن والتعدادات الزراعية و الصناعية.
- المرور: مراقبة و حل الاختناقات المرورية.
- التطبيقات العسكرية: الاستخبارات العسكرية خاصة علي الحدود بين الدول.

٣-٤ آلات و معدات التصوير الجوي

تتنوع الآلات و المعدات المستخدمة في التصوير الجوي بصورة كبيرة بتعدد الشركات المصنعة والتقنيات المستخدمة فيها. بصفة عامة يمكن تقسيم آلات التصوير الجوي (الكاميرات) الي قسمين رئيسين: (١) الكاميرا العادية أو التقليدية التي تستخدم الأفلام كوسيلة لتخزين وحفظ الصور الملتقطة، (٢) الكاميرا الرقمية التي تحفظ الصور بطريقة الكترونية علي أقراص ثابتة أو وسائل أخري للتخزين الرقمي. ومع أن النوع الثاني هو الأكثر تقدما والأعلى من حيث المواصفات التقنية، إلا أن الكاميرات التقليدية مازالت مستخدمة في أعمال التصوير الجوي.

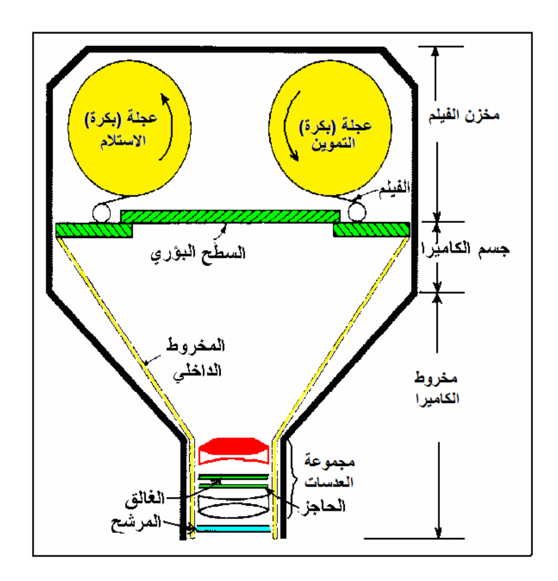
(أ) كاميرا عادية (ب) كاميرا رقمية

شكل (٣-٦) كاميرات التصوير الجوي

٣-٤-١ كاميرا التصوير الجوي

تتنوع كاميرات التصوير الجوي التقليدية تنوعا كبيرا، وبصفة عامة توجد (١) كاميرات تستخدم عدسة واحدة، (٢) كاميرات متعددة العدسات، أي تستطيع التقاط أكثر من صورة في نفس الوقت، (٣) كاميرات التصوير البانورامية أو الكاميرات شاملة الرؤية التي تستخدم في تصوير صور بانورامية تغطي الأفق، (٤) كاميرات التصوير الشريطية وهي التي تبقي عملية التصوير مستمرة من بداية الفيلم الي نهايته.

وتعد كاميرا التصوير الجوي ذات العدسة الواحدة هي الأكثر استخداما، وتشمل مكوناتها الرئيسية أربعة أجزاء وهي مجموعة العدسات و ملحقاتها و جسم الكاميرا و مخروط الكاميرا و مخزن الفيلم.



شكل (٣-٧) مكونات كاميرا التصوير الجوي

مجموعة العدسات و ملحقاتها Lenses

تصنع العدسات lenses المستخدمة في التصوير الجوي من زجاج عالي النقاء (أو مواد أخري شبيهه) بحيث تخلو العدسة من العيوب. وتتكون عدسة كاميرا التصوير الجوي إما من عدسة بسيطة (عدسة واحدة) أو عدسة مركبة (مجموعة من العدسات). ومع العدسة توجد مجموعة من الملحقات الأخرى و تشمل:

- الغالق (أو مصراع الكاميرا) shutter: جهاز يتحكم في الفترة الزمنية للسماح بمرور الضوء من العدسة (تتراوح هذه الفترة من ٠.٠١ الي ٠.٠٠١ من الثانية)، اي أن الغالق يتحكم في درجة سطوع الصورة وهو من أهم عوامل الصور الجوية.
- الحاجب (أو الحجاب الحاجز)diaphragm: جهاز ينظم كمية الضوء الذي يمر من العدسة الي الفيلم. وكمية الضوء الداخلة للفيلم هي حاصل ضرب مساحة فتحة الحاجب في زمن فتح العدسة، وهي كمية ثابتة طبقا لحساسية الفيلم المستخدم في التصوير.
- مرشح اللون filter: جهاز لجعل توزيع الضوء متساوي في كافة أنحاء الصورة مما يعطي تباين واضح للمعالم الأرضية المصورة. أيضا فمرشحات الألوان هي المتحكمة في انتقاء الطيف المراد استخلاص البيانات منه. كما توظف المرشحات أيضا في حماية سطح العدسة من الرهج (الجزئيات الطائرة من الأتربة) والتي من الممكن أن تقلل من كفاءة العدسة أو تصيبها بالضرر.

مخزن الفيلم Film Magazine

يحتوي بكرتين لشريط الفيلم الحساس الأولي (عجلة الاستلام) تحتوي الفيلم قبل التصوير بينما الثانية (عجلة التموين) تحتوي الفيلم بعد التصوير.

مخروط الكاميرا Camera Cone

يهدف مخروط الكاميرا الي ربط أجزاء مجموعة العدسات و ملحقاتها معا كما أنه يحمل العدسة علي مسافة معينة ثابتة من اللوح السالب (الفيلم) ولذلك فهو غالبا يصنع من معدن ذو معامل تمدد حراري صغير، بالإضافة الي أنه يمنع الضوء عن الفيلم نفسه.

جسم الكاميرا Camera Body

يشمل الإطار الخارجي للكاميرا بالإضافة الي الموتور و باقي الأجهزة الكهربائية و الميكانيكية اللازمة لإدارة الكاميرا.

وبالإضافة لكاميرا التصوير الجوي ذاتها توجد عدة أجهزة أخري تحتاجها عملية التصوير الجوي وتشمل:

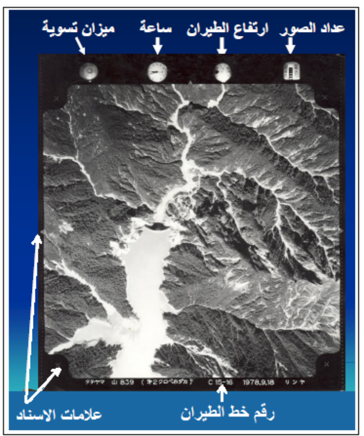
- جهاز تثبيت الكاميرا في موضعها الصحيح بغض النظر عن انحراف الطائرة أو ميلها أثناء التصوير.
- جهاز قياس ارتفاع الطيران.
- جهاز تحديد الفترة الزمنية بين كل صورتين متتاليتين.
- جهاز التحكم الضوئي الذي يتحكم في زمن فتح العدسة طبقا لشدة إضاءة المنطقة الأرضية المصورة.
- جهاز فرد أو شد الفيلم والذي يجعل الفيلم مستويا تماما أثناء التصوير عن طريق تفريغ الهواء بين الفيلم و العدسة.

تستخدم الصور الجوية بصفة أساسية في إنتاج و تحديث الخرائط وذلك عن طريق عمل القياسات الدقيقة من الصورة لتحويلها الي خريطة. ويتطلب ذلك الهدف الرئيسي عدة مواصفات أو خصائص للكاميرات والأجهزة المستخدمة في التصوير الجوي للصول الي مستوي الدقة المنشود لإتمام عملية إنتاج الخرائط. ومن هذه الخصائص:

- أن تكون عدسات كاميرا التصوير الجوي علي درجة عالية من النقاء و خالية من التشوه حتى تكون الصور الجوية عالية الوضوح في إبراز المعالم الأرضية.
- أن تكون الكاميرا علي درجة تقنية عالية في مواصفاتها لتعطي قدرة عالية علي إظهار تفاصيل المعالم الأرضية.
- أن تتمتع الكاميرا و أجهزتها بالتحكم الدقيق في كمية الضوء المارة بالعدسة الي الفيلم حتى تنتج صور عالية الوضوح و الدقة.
- أن يكون الفيلم داخل الكاميرا علي استواء كامل أثناء عملية التقاط الصور لتفادي المناطق غير الواضحة التي قد تظهر علي الصورة.
- بصفة عامة يجب أن تتمتع كاميرا التصوير الجوي بكفاءة عالية في تشغيل مكوناتها و أجهزتها لالتقاط الصورة في زمن قليل حتى لا تتأثر جودة الصور بحركة الطائرة و اهتزازها.
- أن تقوم الكاميرا بتسجيل المعلومات الأساسية اللازمة لعملية التصوير والتي تشمل تسجيل كلا من:
  - رقم الصورة
  - رقم خط الطيران
  - تاريخ التصوير

- وقت التصوير
- ارتفاع الطيران
- درجة الميل
- رقم الكاميرا
- البعد البؤري للكاميرا
- علامات الإسناد (علامات إطار الصورة)



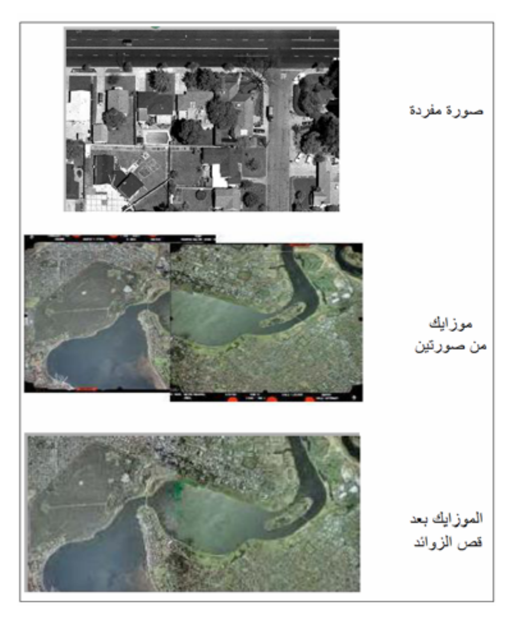


شكل (٣-٨) نماذج للمعلومات المسجلة علي الصورة الجوية

٣-٤-٢ أنواع الصور الجوية

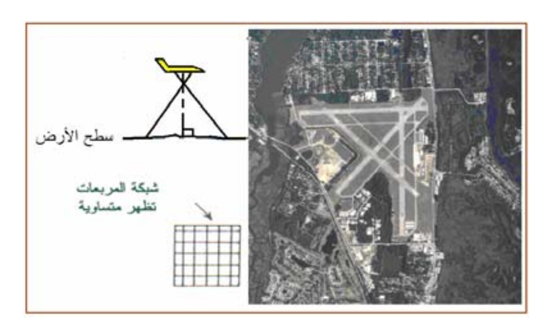
تصنف الصور الجوية الي عدة أنواع أو مجموعات طبقا لطرق تقسيم مختلفة ومنها التصنيف طبقا لاتساع زاوية التصوير و التصنيف طبقا لارتفاع الطيران و التصنيف طبقا لأبعاد الصورة والتصنيف طبقا لمقياس رسم الصورة والتصنيف طبقا لشكل الصورة وإمكانية تجسيمها والتصنيف طبقا لدرجة الميل وهذا الأخير هو أهم التصنيفات. فطبقا لاتساع زاوية عدسة التصوير فتوجد صور ذات زاوية عادية، و صور ذات زاوية ضيقة، و صور ذات زاوية عريضة، و صور ذات زاوية عريضة جدا. وتستخدم الصور عريضة الزاوية لتصوير

المناطق المتسعة و الصحاري ورسم الخرائط ذات مقاييس الرسم الصغيرة، بينما تكون الصور ذات الزاوية العادية لتصوير المدن بحيث ينتج عنها خرائط ذات مقياس رسم كبير الي متوسط. كما تصنف الصور الجوية طبقا لارتفاع الطيران الي ثلاثة أنواع: الصور الملتقطة من ارتفاع عال و الصور الملتقطة من ارتفاع متوسط و الصور الملتقطة من ارتفاع منخفض. وبالطبع فأنه كلما زاد ارتفاع الطيران زادت مساحة المنطقة الأرضية الظاهرة علي الصورة. أما تصنيف الصور الجوية طبقا لأبعادها فأن الصور أما أن تكون ذات أبعاد ٢٣×٢٣ سنتيمتر أو ذات أبعاد ١٨×١٨ سنتيمتر، وهناك نوع غير شائع وهو ذو أبعاد ١٨×٢٣ سنتيمتر. أما أنواع الصور الجوية طبقا لمقياس رسمها فيشمل الصور ذات مقاييس الرسم الصغيرة (١ : ٥٠،٠٠٠ و أصغر) والصور ذات مقاييس الرسم المتوسطة (١ : ٢٥،٠٠٠) والصور ذات مقاييس الرسم الكبيرة (١ : ١٠،٠٠٠ و أكبر). ومن حيث شكل الصور الجوية وإمكانيات تجسيمها (الحصول علي صورة مجسمة ثلاثية الأبعاد للمعالم الأرضية) فتوجد صور غير مجسمة و صور مجسمة. الصور الجوية غير المجسمة هي صورة ثنائية الأبعاد وتنقسم الي صورة مفردة أو موزايك. الموزايك هو ضم أكثر من صورة جوية معا للحصول علي صورة تغطي منطقة أرضية أكبر. فعلي سبيل المثال إذا أردنا دراسة التوسع العمراني لمدينة معينة وكانت هذه المدينة تظهر في أكثر من صورة جوية فأننا نقوم بضم هذه الصور معا لنحصل علي صورة واحدة مجمعة (موزايك أو فسيفساء) للمدينة كلها. أما النوع الثاني من الصور الجوية فهي تلك الصور التي تسمح - بأجهزة وخطوات معينة - بالحصول علي رؤية مجسمة للمعالم الأرضية علي الصورة، وتسمي هذه الصور بأزواج الصور أو الصور المزدوجة.



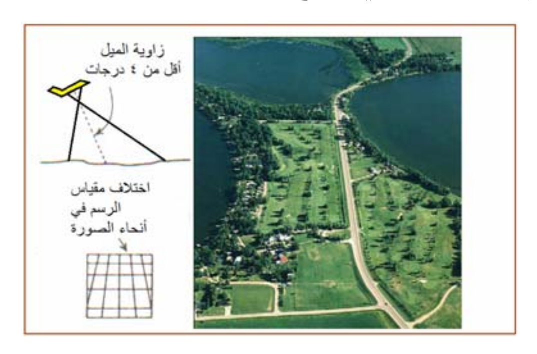
شكل (٣-٩) أنواع الصورة الجوية طبقا لشكلها

كما يعد تقسيم الصور طبقا لزاوية الميل هو أهم أنواع تصنيفات الصور الجوية من حيث طبيعة استخدام كل نوع من هذه الأنواع. تنقسم الصور الجوية في هذا التقسيم الي ثلاثة أنواع: الصور الرأسية والصور قليلة الميل (أو الصور المائلة) والصور شديدة الميل (أو الصور الميالة). الصورة الجوية الرأسية هي تلك الصورة الملتقطة ومحور الكاميرا في وضع رأسي مع سطح الأرض (أي محور الكاميرا عمودي تماما علي سطح الأرض). وتعد هذه الصور هي الأدق و الأنسب في إنتاج الخرائط حيث تكون الخصائص الهندسية للصورة متساوية، فإذا تخيلنا مجموعة من المربعات المتساوية علي سطح الأرض فأنها ستظهر مربعات متساوية علي الصورة الرأسية أيضا. كما أن مساحة المنطقة المصورة ستكون بسيطة في هذا النوع من الصور الجوية. لكن وعلي الجانب الآخر فأن الحصول علي صور جوية رأسية يعد أمرا صعب التحقيق بسبب ظروف التصوير و حركة الطائرة حيث لا يمكن التحكم في وضع الطائرة ووضع الكاميرا تماما أثناء الطيران.



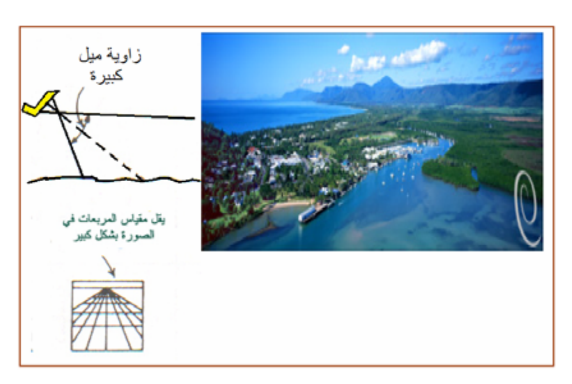
شكل (٣-١٠) الصورة الجوية الرأسية

الصورة الجوية قليلة الميل هي تلك الصورة الملتقطة بحيث يميل محور الكاميرا ميلا بسيطا - لا يتجاوز ٤ درجات - عن الوضع الرأسي. وفي هذه الصورة سيختلف شكل المعالم الأرضية عن شكلها الحقيقي، حيث لن تكون شبكة المربعات - التخيلية - المتساوية علي سطح الأرض ظاهرة متساوية علي الصورة وإنما ستختلف مساحة المربعات من مكان لآخر علي الصورة. لكن يمكن استخدام طرق علمية و أجهزة تقنية معينة لتحويل الصور الجوية قليلة الميل الي صور رأسية، ومن ثم استخدامها في إنتاج الخرائط.



شكل (٣-١١) الصورة الجوية قليلة الميل

الصور الجوية شديدة الميل هي تلك الصور الملتقطة ومحور الكاميرا يميل بدرجة كبيرة عن الوضع الرأسي، بحيث يظهر الأفق في الصورة. وفي هذه الصور سيختلف شكل المعالم الأرضية اختلافا كبيرا من جانب لآخر علي الصورة. وهذا النوع من الصور الجوية لا يمكن استخدامه في إنتاج الخرائط لكنه مفيد جدا في تطبيقات تفسير الصور الجوية للحصول علي معلومات عن الظواهر الجغرافية وخاصة و أن الصورة شديدة الميل تظهر منطقة جغرافية كبيرة بالمقارنة بالصور الرأسية أو الصور قليلة الميل.



شكل (٣-١٢) الصورة الجوية شديدة الميل

٣-٤-٣ الفروق بين الصورة الجوية و الخريطة

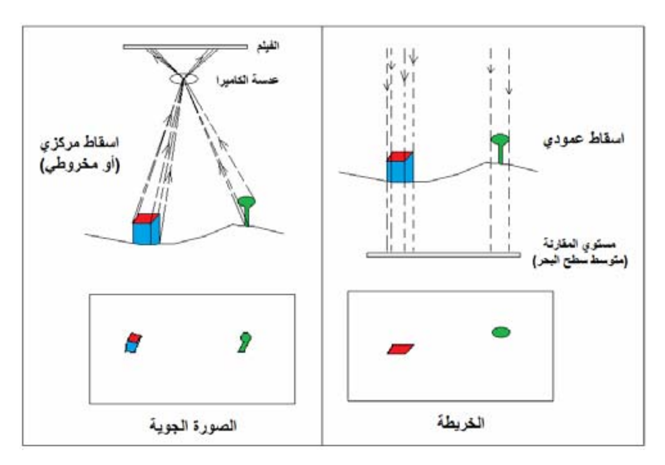
أكثر استخدامات الصور الجوية في المجالين الجغرافي و الهندسي هو إنتاج و تحديث الخرائط، ومن ثم فيجب فهم طبيعة وخصائص كلا من الخريطة و الصور الجوية والفروقات بينهما مما سيعطي صورة واضحة - وان كانت مبدئية في هذا الفصل - عن كيفية التعامل مع الصور الجوية وإمكانية إنتاج الخرائط منها.

يتمثل أهم الفروق بين الصورة و الخريطة في طبيعة الإسقاط projection المستخدم في تمثيل المعالم المكانية. فالخريطة يتم رسمها بناءا علي المسقط الأفقي للأشعة المتوازية التي تسقط عمودية علي سطح الأرض orthogonal projection. فعلي سبيل المثال فلو تخيلنا مبني علي سطح الأرض (كلية مثلا) فسيظهر علي الخريطة في مسقطه الأفقي (طوله و عرضه فقط) ولن يظهر ارتفاع المبني أو عدد أدواره، أو بمعني آخر فأن قمة المبني و قاع المبني سينطبقان علي الخريطة. وعلي الجانب الآخر فأن الصورة الجوية ملتقطة من مركز عدسة الكاميرا (أي أن كل الأشعة تمر بنقطة مركز العدسة ثم تسقط علي الفيلم بداخل الكاميرا) وبالتالي فأن طبيعة الإسقاط هنا هي المسقط المركزي أو المسقط المخروطي perspective projection. فلو تخيلنا نفس المثال السابق (مبني كلية) فمن الممكن أن تظهر التفاصيل الجانبية للمبني في الصورة المائلة ويمكننا تمييز ارتفاع المبني ذاته. أي أن الصورة الجوية من

الممكن أن توضح قمة و قاع المعلم المكاني، وبالتالي ستكون مختلفة عن تمثيل نفس المعلم علي الخريطة بسبب طبيعة الإسقاط. بناءا علي ذلك فيمكننا القول أننا لا نستطيع رسم خريطة مباشرة من الصورة الجوية، ويجب أولا أن نزيل تأثير المسقط المركزي للصورة حتى يصبح من نوع المسقط الأفقي مثل الخريطة (وهو ما نسميه الصورة العمودية كما سيتم شرحها لاحقا).

يتمثل ثاني الفروق الهامة بين الخريطة و الصورة الجوية في تأثير ارتفاعات وتضاريس المعالم المكانية. في الخريطة يتم إسقاط جميع المظاهر الجغرافية علي مستوي المقارنة المتمثل في متوسط سطح البحر، وحيث أن الأشعة الساقطة علي هذا المستوي تكون عمودية فلن يحدث تأثير لفروق الارتفاعات بين المعالم الجغرافية علي شكلها و موقعها الصحيح علي الخريطة. في الصورة الجوية - وكما سبق الذكر - فأن مقياس رسم الصور يتغير من مكان لآخر علي نفس الصورة بسبب قرب أو بعد المعلم المكاني من مركز عدسة كاميرا التصوير الجوي، فكلما زاد منسوب المعلم كلما زاد مقياس الرسم علي الصورة وكلما كان المعلم منخفضا كلما قل مقياس رسمه علي الصورة. و بمعني آخر فأن ارتفاعات المظاهر الجغرافية عن سطح المقارنة (المناسيب) تؤثر علي موضع المعلم علي الصورة الجوية ذاتها. وبناءا علي ذلك فيمكننا القول مرة أخري أننا لا نستطيع رسم خريطة مباشرة من الصورة الجوية، ويجب أولا أن نزيل تأثير اختلاف مناسيب المعالم الجغرافية (وهو ما نسميه تأثير الإزاحة كما سيتم شرحها لاحقا) قبل أن نستخدم الصورة الجوية في رسم الخريطة.

أيضا يوجد فرق ثالث مهم بين الخريطة و الصورة الجوية حيث يتم رسم الخريطة باستخدام الرموز وتحتوي الخريطة علي أسماء المعالم الجغرافية (مثل الشوارع و الأحياء) واتجاه الشمال و شبكة الإحداثيات، بينما الصورة الجوية تمثل الواقع كما هو وبدون أية إضافات أو رموز خاصة.



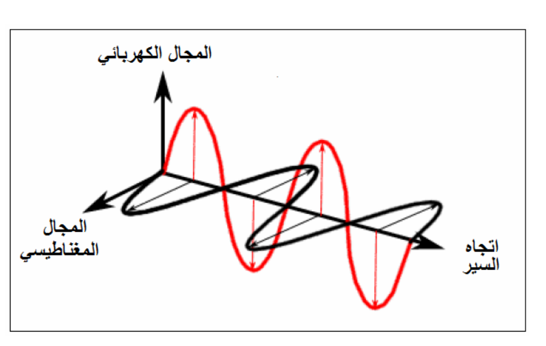
شكل (٣-١٣) فرق الإسقاط بين الخريطة والصورة الجوية

٣-٥ أسس التصوير الجوى

يعتمد التصوير الجوي علي عدة أسس علمية لعلوم الضوء و البصريات حيث أن كاميرات التصوير الجوي (التقليدية) تحتوي علي عدسة أو عدة عدسات تسمح بمرور الضوء الي الفيلم. يتعرض هذا الفصل للأسس العامة للضوء الكهرومغناطيسي و أجزاؤه وللعدسات و أنواعها وأيضا للأفلام ومكوناتها، وكلها معلومات هامة للغاية لدارس التصوير الجوي والاستشعار عن بعد.

٣-٥-١ الضوء الكهرومغناطيسي

تسير الموجات الضوئية في الفراغ مكونة مجالين من الطاقة: (١) المجال الكهربائي في اتجاه السير و (٢) المجال المغناطيسي العمودي علي اتجاه السير، وكلا المجالين يسيران بسرعة ثابتة في الفراغ وهي ما يطلق عليها اسم سرعة الضوء. من هنا يسمي الضوء بأنه ضوء كهرومغناطيسي أو أشعة كهرومغناطيسية.

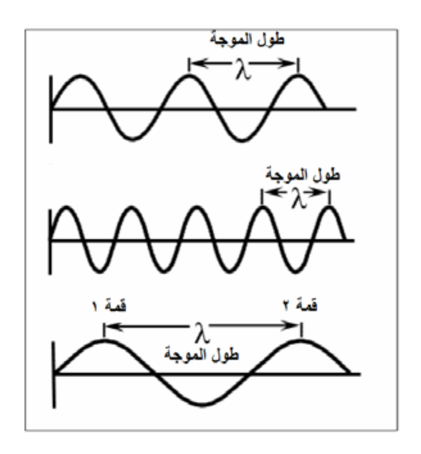


شكل (٣-١) الضوء الكهرومغناطيسي

الضوء الكهرومغناطيسي ليس نوعا واحدا، بل يوجد بداخله مئات من الأنواع أو الأقسام أو الأشعة التي تختلف في مواصفاتها وأيضا في استخداماتها. ولكي نفرق بين هذه الأنواع يجب وضع معيار محدد، وهناك معيارين أو قيمتين تمكننا من تقسيم الضوء الكهرومغناطيسي الي أقسم وهما (١) الطول الموجي، و (٢) التردد. وقبل الدخول في تفاصيلهما سنتعرض للوحدات المستخدمة في القياس حيث:

١ متر	= ١٠٠ أو ١٠ ^{٢}	سنتيمتر (سم)
١ سنتيمتر	= ١٠	ملليمتر (مللي)
١ ملليمتر	= ١٠٠٠ أو ١٠ ^{٣}	مايكرومتر (ميكرو أو الرمز اللاتيني μ)
١ مايكرومتر	= ١٠٠٠ أو ١٠ ^{٣}	نانومتر

يسير الضوء المغناطيسي في الفراغ في صورة منحني (وليس خطا مستقيما) يشبه منحني دالة الجيب sin، أي أنه - وبصورة تخيلية - يزداد ليصل الي أقصي قيمة (قمة ١) ثم يبدأ في الانخفاض حتى يصل الي الصفر ثم يستمر ليصل الي أقصي قيمة سالبة في الجهة الأخرى (قمة ٢) ثم يبدأ في الزيادة ليصل لمستوي الصفر مرة أخري. وهذه الحركة أو الدورة نطلق عليها اسم "موجة"، وتتكرر هذه الموجات طوال خط سير الضوء. والمسافة التي تفصل بين قمتين متتاليتين هي ما يطلق عليها اسم "طول الموجة" أو "الطول الموجي wave length" للضوء، وغالبا يستخدم الحرف اللاتيني (ينطق λ لامدا) للتعبير عن الطول الموجي. وبذلك فأن أنواع الضوء الكهرومغناطيسي تختلف في قيمة الطول الموجي لها من نوع الي آخر.



شكل (٣-٢) الطول الموجي للضوء الكهرومغناطيسي

يعد التردد frequency هو المعيار الثاني المستخدم في التفرقة بين نوع ضوء كهرومغناطيسي و نوع آخر، ويعرف التردد علي أنه عدد الدورات الكاملة (الموجات) للضوء في فترة زمنية محددة، أو بصورة أخري فالتردد هو عدد الموجات في الثانية الواحدة. ويقاس التردد بوحدات الهرتز والذي يساوي ١ دورة/ثانية، ومضاعفاتها مثل الكيلو هرتز والمساوي ١٠٠٠ (أي ألف) دورة/ثانية أو الميجا هرتز والبالغ ١،٠٠٠،٠٠٠ (أي مليون) دورة/ثانية أو الجيجا هرتز والبالغ ١،٠٠٠،٠٠٠،٠٠٠ (أي مليار) دورة/ثانية.

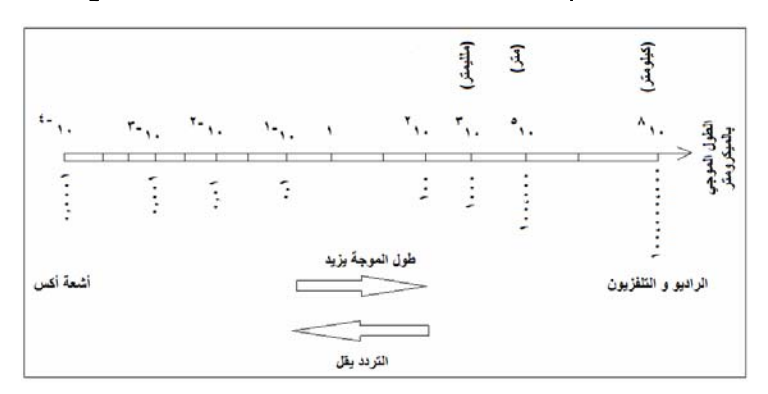
العلاقة بين الطول الموجي و التردد لأي نوع من أنواع الضوء الكهرومغناطيسي هي علاقة ثابتة حيث أن:

التردد × الطول الموجي = سرعة الضوء

frequency x wave length = light speed

من المعروف أن سرعة الضوء ثابتة (حوالي ٣٠٠،٠٠٠ كيلومتر/ثانية) فيمكننا حساب التردد أو الطول الموجي لنوع محدد من الضوء إذا علمنا قيمة الآخر. كما يدل ذلك علي أن العلاقة بين التردد و سرعة الضوء علاقة عكسية، فإذا زاد التردد قل الطول الموجي والعكس صحيح أيضا. ولذلك سنعتمد علي قيمة طول الموجة في تعريف أنواع أو أقسام الضوء المغناطيسي في الجزء التالي.

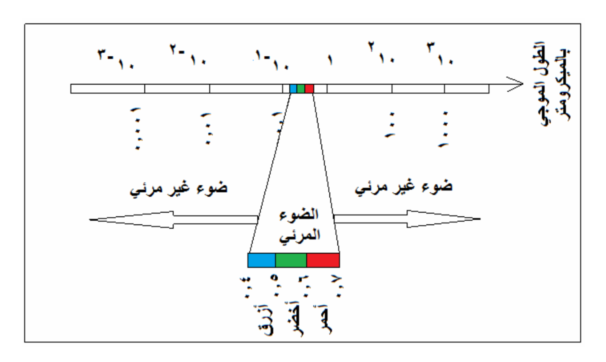
طبقا للطول الموجي فأن الضوء الكهرومغناطيسي يتراوح بين أطوال موجات قصيرة جدا (مثل أشعة جاما و أشعة اكس أو الأشعة السينية) الي أطوال موجات كبيرة جدا (مثل موجات بث الراديو و التلفزيون)، ومن هنا فيوجد عدد كبير جدا من أنواع أو أقسام الضوء.



شكل (٣-٣) أقسام الضوء الكهرومغناطيسي بناءا علي طول الموجة

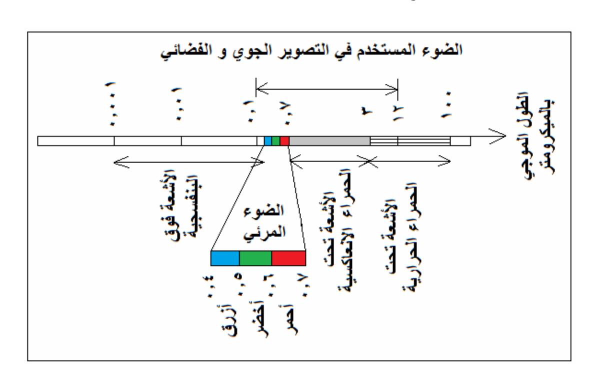
ما تستطيع عين الإنسان رؤيته من أنواع الضوء الكهرومغناطيسي هو ما نطلق عليه اسم الضوء المرئي، بينما كل الأشعة التي لا تستطيع العين البشرية التعامل معها تسمي الضوء غير المرئي. والضوء المرئي هو الضوء الذي يتراوح طوله الموجي بين ٠.٤ مايكرومتر و ٠.٧ مايكرومتر، أي أن أي ضوء له طول موجه أقل من ٠.٤ مايكرومتر وأي ضوء له طول موجه أكبر من ٠.٧ مايكرومتر لن نستطيع رؤيته ولذلك يسمي الضوء غير المرئي. ويتقسم الضوء المرئي الي ٣ أقسام رئيسية وهي:

- اللون الأزرق: يتراوح طول الموجة من ٠.٤ الي ٠.٥ مايكرومتر
- اللون الأخضر: يتراوح طول الموجة من ٠.٥ الي ٠.٦ مايكرومتر
- اللون الأحمر: يتراوح طول الموجة من ٠.٦ الي ٠.٧ مايكرومتر



شكل (٣-٤) الضوء الكهرومغناطيسي المرئي وغير المرئي

يستخدم الضوء المرئي في التصوير الجوي بصفة أساسية، وان كانت هناك أنواع من معدات التصوير الجوي و أيضا التصوير الفضائي تستخدم بالإضافة للضوء المرئي أنواع من الضوء غير المرئي ذات أطوال موجات قريبة. فالأشعة فوق البنفسجية ultraviolet - التي تتراوح أطوال موجاتها بين ٠.١ مايكرومتر و ٠.٤ مايكرومتر - تستخدم في تطبيقات معينة من التصوير خاصة التصوير الفضائي (الاستشعار عن بعد) في مجال الجيولوجيا وتحديد أنواع الصخور. كما تستخدم الأشعة تحت الحمراء infrared سواء الانعكاسية (طول موجاتها يتراوح بين ٠.٧ و ٣ مايكرومتر) أو الأشعة تحت الحمراء الحرارية أو الانبعاثية (طول موجاتها يتراوح بين ٣ و ١٢ مايكرومتر) في التصوير الجوي و التصوير الفضائي خاصة في التطبيقات الزراعية و المائية و العسكرية.



شكل (٣-٥) الضوء المستخدم في التصوير الجوي و التصوير الفضائي

٣-٥-٢ العدسات

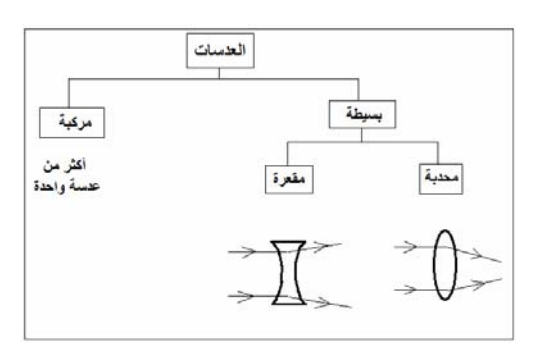
العدسة هي قطعة من الزجاج النقي التي عندما يسقط الضوء علي سطحها إما أن تسمح له بالانكسار (المرور) أو أن تعكسه (أو ترده) مرة أخري كما في حالة المرآة. وتتكون أنواع العدسات إما مع عدسة بسيطة (عدسة واحدة) أو عدسة مركبة (مجموعة من العدسات). وتتكون العدسة البسيطة من نوعين:

عدسة محدبة:

يكون وسط العدسة أسمك من أطرافها، وبذلك فهي تستخدم في تجميع الأشعة الضوئية بعد مرورها بالعدسة ومن ثم فيطلق عليها أيضا العدسة اللامة أو العدسة الموجبة.

عدسة مقعرة:

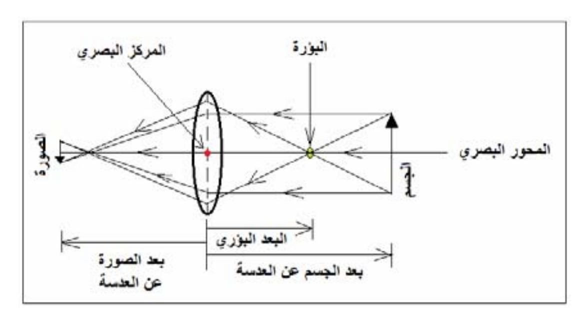
يكون وسط العدسة أقل سمكا من أطرافها، وبذلك فهي تستخدم في تفريق الأشعة الضوئية بعد مرورها بالعدسة ومن ثم فيطلق عليها أيضا العدسة المفرقة أو العدسة السالبة.



شكل (٣-٦) أنواع العدسات

لكل عدسة مركز بصري optical center وهو النقطة التي إذا مر بها شعاع الضوء فلا يحدث له أي انكسار أو انحراف، أي أن اتجاه دخول الضوء الي العدسة هو نفس اتجاه خروجه من العدسة. والمركز البصري للعدسة ينطبق علي مركزها الهندسي أي مركز تكور سطح العدسة. أما الخط الذي إذا مر شعاع الضوء من خلاله فلا يحدث له أي انكسار فيسمي المحور البصري optical axis للعدسة، وهو بالطبع يمر من خلال المركز البصري للعدسة.

البؤرة أو النقطة الأساسية focus للعدسة هي نقطة علي المحور البصري للعدسة تتجمع عندها الأشعة الموازية للمحور البصري. فإذا وضع أي هدف في موضع البؤرة فلن تتكون له صورة خلف العدسة. وتعرف المسافة بين المركز البصري للعدسة و بؤرة العدسة باسم البعد البؤري focal length للعدسة، حيث لكل عدسة بعد بؤري ثابت لا يتغير.



شكل (٣-٧) الخصائص الأساسية للعدسة

٣-٥-٣ الأفلام

الفيلم هو شريحة من البلاستيك المغطاة بطبقة من مادة نترات الفضة، وهي المادة التي تتميز بتأثرها أو حساسيتها للضوء طبقا لشدته. وبصفة عامة تنقسم الأفلام المستخدمة في التصوير الجوي - طبقا لاستخدامات التصوير الجوي - إلي عدة أنواع تشمل أساسا الأفلام الضوئية والأفلام غير الضوئية، وفي كل نوع منهما يوجد أفلام ملونة و أفلام غير ملونة. فالأفلام الضوئية هي تلك الحساسة لأنواع الطيف الكهرومغناطيسي المرئي فقط، بينما النوع الثاني من الأفلام يكون حساسا وقادرا علي تسجيل بعض أنواع الضوء غير المرئي خاصة الأشعة تحت الحمراء.

ومن أنواع أفلام التصوير الجوي:

- الفيلم البانكروماتي أو الفيلم الحساس للضوء المرئي: الفيلم المرئي العادي المستخدم في التصوير الأبيض و أسود ، وهو يتميز بسعره المنخفض، ومازال هو الأكثر استخداما في التصوير الجوي خاصة بهدف إنتاج الخرائط وأيضا في التطبيقات الجيولوجية و الهيدرولوجية و التربة.
- الفيلم الأبيض و الأسود الحساس للأشعة تحت الحمراء: تمتد حساسية مادة الفيلم لتشمل بالإضافة للضوء المرئي الأشعة تحت الحمراء أيضا. تستخدم هذه النوعية من الأفلام في التعرف علي جودة و صحة النباتات حيث تظهر النباتات ذات الأوراق الممتلئة بالكلورفور (اليخضور) تظهر بلون أبيض بينما النباتات المريضة تظهر بلون داكن. كما أن هذه النوعية من الأفلام تكون مفيدة في التمييز بين الماء و اليابسة واكتشاف المسطحات المائية مهما صغرت مساحتها.
- الفيلم الملون العادي: حيث تظهر المعالم الطبيعية في الصورة بألوانها الطبيعية المعتادة كما تراها العين البشرية، كما أن عين الإنسان تستطيع أن تميز بين ألوان أكثر كثيرا مما تستطيع أن تميز من تدرجات اللون الرمادي في الأفلام البانكروماتية. وقديما كان سعر الأفلام الملونة مرتفعا ولم تكن هذه الأفلام منتشرة بكثرة في تطبيقات التصوير الجوي إلا أنها أصبحت الآن أكثر استخداما خاصة في تفسير الصور الجوية.
- الفيلم الملون الحساس للأشعة تحت الحمراء:٠وتسمي أيضا الأفلام الملونة الكاذبة حيث تظهر المعالم الخضراء بلون ازرق علي الصورة باستثناء النباتات كما تظهر المعالم الحمراء بلون اخضر علي الصورة وتظهر الأهداف التي لا تراها عين الإنسان (خارج نطاق الضوء المرئي) بلون أحمر علي الصورة. يستخدم هذا النوع

من الأفلام في التطبيقات الزراعية لتحديد أنواع و أمراض النباتات وكذلك التمييز بين المياه الصافية أو العذبة و المياه العكرة أو شديدة الأملاح، وأيضا في التطبيقات العسكرية والمخابراتية.

٣-٦ القياس من الصور الجوية

٣-٦-١ حساب مقياس رسم الصور الجوية

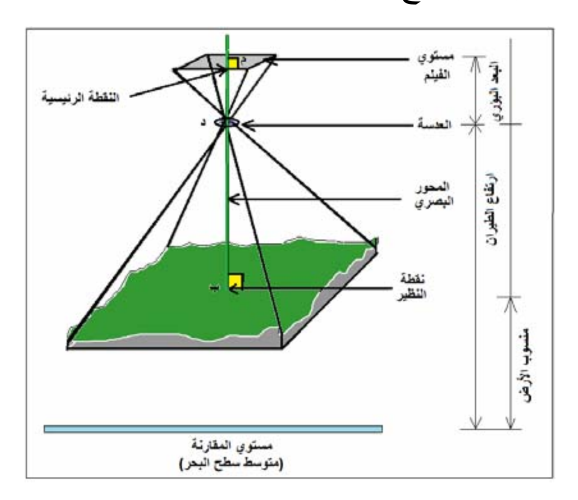
مقياس رسم الصورة الجوية هو النسبة العددية بين أي طول علي الصورة و طوله الحقيقي علي الأرض. وتجدر الإشارة الي أن تعريف مقياس رسم الخريطة هو نفس التعريف إلا أننا نضيف عليه كلمة "النسبة العددية الثابتة"، ومن هنا نستنتج أن مقياس رسم الصورة الجوية غير ثابت لنفس الصورة و إنما يختلف من نقطة لأخرى عليها بعكس الخريطة. والسبب الرئيسي والأساسي وراء هذا الاختلاف هو طبيعة الإسقاط المركزي للصورة الجوية والذي يتسبب في أن مقياس رسمها سيعتمد علي منسوب كل نقطة (أي طبيعة تضاريس المنطقة الجغرافية المصورة). وتوجد عدة عوامل أخري وراء عدم ثبات قيمة مقياس رسم الصورة الجوية مثل ميل الصورة و أخطاء العدسة و أخطاء الفيلم وطبيعة تكور سطح الأرض ذاتها، إلا أن معظم هذه العوامل قد تم التغلب عليها بتقدم التقنيات الحديثة المستخدمة في إنتاج معدات و أفلام التصوير الجوي حاليا.

توجد عدة طرق لحساب مقياس رسم صورة جوية طبقا للمعلومات المتاحة و أيضا طبقا لتغير تضاريس سطح الأرض (المناسيب) للمنطقة الجغرافية الظاهرة علي الصورة.

مقياس الرسم لمنطقة مستوية

لقياس ارتفاع أي نقطة علي سطح الأرض فأننا نستخدم مستوي سطح البحر علي أنه مستوي المقارنة (الصفر) الذي يبدأ قياس الارتفاع من عنده، ومن هنا نطلق علي هذا الارتفاع مصطلح "المنسوب" لنفرق بينه وبين أي طريقة أخري لقياس الارتفاعات. فالمنسوب هو قيمة ارتفاع النقطة عن مستوي سطح البحر. فعند تصوير منطقة منبسطة أو مستوية التضاريس تكون مناسيب المعالم الجغرافية تقريبا واحدة أو قريبة من بعضها البعض مما يجعلنا نفترض أن فروق المناسيب لن يكون لها تأثير كبير علي حساب مقياس رسم الصورة الجوية.

بالنظر للشكل التالي نجد أن مركز الصورة أو النقطة الأساسية (م) ومركز العدسة (د) يقعان علي خط واحد وهو المحور البصري للعدسة. فإذا قمنا بمد المحور البصري علي استقامته حتى يقطع الأرض فأن مسقط مركز العدسة سيقع عند نقطة تسمي نقطة النظير (ب). أيضا يمكننا ملاحظة أن المنطقة الأرضية قد تم تصغيرها علي الصورة الجوية بنفس النسبة بين المسافة م د الي المسافة د ب، أو بمعني آخر فأن نسبة التصغير علي الصورة تساوي نفس النسبة بين البعد البؤري للكاميرا (المسافة م د) وارتفاع الكاميرا عن سطح الأرض (المسافة د ب) وهذا الأخير ما هو الفرق بين ارتفاع الطيران و منسوب الأرض. ونسبة تصغير الصورة الجوية ما هي إلا مقياس رسم هذه الصورة، ومن ثم يمكننا القول أن مقياس رسم الصورة هو النسبة بين البعد البؤري و فرق ارتفاع الطيران و المنسوب.



شكل (٣-٨) الخصائص الهندسية للصورة الجوية الرأسية

و في هذه الحالة تكون معادلة حساب مقياس رسم الصورة الجوية كالتالي:

$$s = f / \ (h - H) \qquad 3\text{-}1$$

حيث:

s مقياس رسم الصورة الجوية

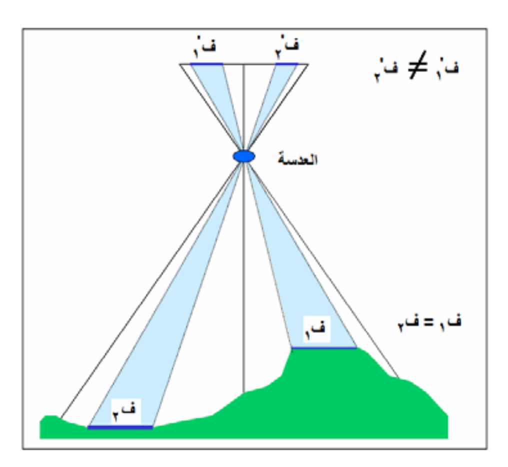
f البعد البؤري

h ارتفاع الطيران

H منسوب النقطة (ارتفاعها عن متوسط سطح البحر)

مقياس الرسم لمنطقة مختلفة التضاريس

في حالة اختلاف تضاريس المنطقة المصورة (أي اختلاف مناسيب معالمها عن مستوي سطح البحر) سيكون هناك مقياس رسم لكل نقطة يختلف عن مقياس رسم النقطة الأخرى. فبالنظر للشكل التالي سنجد أن المسافتين ف١ ، ف٢ متساويتين علي الأرض لكنهما مختلفتين في المنسوب مما سيجعل صورتيهما علي الصورة الجوية ف'١ ، ف'٢ لن يكونا متساويتين. أي أنه كلما كان الهدف أقرب للكاميرا (أي أعلي منسوبا) كلما ظهر علي الصورة الجوية بمقياس رسم أكبر.



شكل (٣-٩) اختلاف التضاريس و تأثيره علي مقياس رسم الصورة الجوية

وفي حالة اختلاف المناسيب (التضاريس) فنستخدم المعادلات التالية:

لحساب مقياس الرسم عند النقطة الأولي a:

$$s_a = f / (h - H_a) \qquad 3\text{-}2$$

حيث:

s_a مقياس رسم الصورة الجوية عند النقطة a

H_a منسوب النقطة a

لحساب مقياس الرسم عند النقطة الثانية b:

$$s_b = f / (h - H_b) \qquad 3\text{-}3$$

حيث:

s_b مقياس رسم الصورة الجوية عند النقطة b

H_b منسوب النقطة b

أما لحساب مقياس الرسم المتوسط للصورة الجوية:

$$s_m = f / (h - H_m) \qquad 3\text{-}4$$

حيث:

s_m مقياس رسم الصورة الجوية المتوسط

H_m المنسوب المتوسط

طرق أخرى لحساب مقياس رسم الصورة الجوية

يمكن حساب مقياس رسم تقريبي للصورة الجوية - في حالة عدم معرفة البعد البؤري للكاميرا و ارتفاع الطيران - بعدة طرق أخري:

(أ) قياس مسافة علي الصورة ومعرفة المسافة الحقيقية لها علي الأرض:

إذا قمنا بقياس مسافة (جزء من طريق مثلا) علي الصورة الجوية وكان معلوما الطول الحقيقي علي الأرض لهذه المسافة فيمكن حساب مقياس رسم الصورة كالتالي:

$$s = D_{photo} / D_{ground} \qquad 3\text{-}5$$

حيث:

D_{photo} المسافة علي الصورة الجوية

D_{ground} المسافة الحقيقية المناظرة علي الأرض

(ب) قياس مسافة علي الصورة وقياسها علي خريطة معلومة:

إذا قمنا بقياس مسافة (جزء من طريق مثلا) علي الصورة الجوية وقمنا بقياس طوله علي خريطة معلومة مقياس الرسم فيمكن حساب مقياس رسم الصورة كالتالي:

$$s = (L_{photo} / L_{map}) \times s_{map} \qquad 3\text{-}6$$

حيث:

L_{photo} الطول علي الصورة الجوية

L_{map} الطول المناظر علي الخريطة

S_{map} مقياس رسم الخريطة

(ج) قياس مسافة بين نقطتين علي الصورة ومعرفة الإحداثيات الأرضية لهما:

إذا قمنا بقياس مسافة بين نقطتين معلومتين علي الصورة الجوية وتوافر لدينا قيم الإحداثيات الأرضية (x,y) لكلتا النقطتين فيمكن حساب مقياس رسم الصورة كالتالي:

$$s = D_{photo} \Big/ \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \qquad 3\text{-}7$$

حيث:

D_{photo} المسافة علي الصورة الجوية بين النقطتين

x_1,y_1 الإحداثيات الأرضية للنقطة الأولي

x_2,y_2 الإحداثيات الأرضية للنقطة الثانية

٣-٦-٢ تطبيقات مقياس رسم الصور الجوية في تصميم الطيران

في حالة معرفة مقياس الرسم المطلوب لتصوير منطقة معينة يمكننا التحديد المسبق لارتفاع الطيران المطلوب أو البعد البؤري للكاميرا الواجب استخدامها لإتمام هذا التصوير.

حساب ارتفاع الطيران المناسب لمقياس رسم

تتطلب بعض تطبيقات التصوير الجوي التقاط الصور بمقياس رسم محدد سلفا طبقا لأهداف مشروع التصوير ذاته، ويتطلب هذا تحديد ارتفاع الطيران المناسب للحصول علي مقياس الرسم المطلوب. يعتمد حساب ارتفاع الطيران في هذه الحالة علي معرفة تضاريس المنطقة الجغرافية، وفي هذه الحالة نستخدم المعادلة ٣-٤ لنستنتج أن:

$$h = H_m + (f \div S_m) \qquad 3\text{-}8$$

حساب البعد البؤري المناسب لمقياس رسم

بنفس الطريقة السابقة فمن الممكن حساب البعد البؤري للكاميرا المطلوبة لإتمام تصوير جوي محدد المقياس ومعلوم ارتفاع الطيران:

$$f = (h - H_m) \times S_m \qquad 3\text{-}9$$

٣-٦-٣ حساب الإحداثيات الأرضية للمعالم

لقياس الإحداثيات علي الصورة الجوية يتم الاعتماد علي نظام إحداثيات يتكون من:

١. مركز النظام في النقطة الرئيسية أو مركز الصورة.

٢. المحور السيني الموجب x هو اتجاه الطيران.

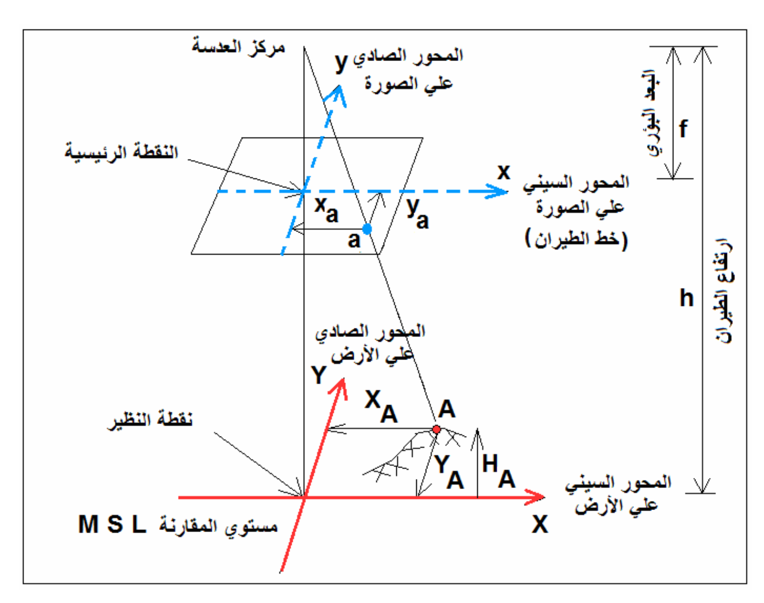
٣. المحور الصادي الموجب y هو الاتجاه العمودي علي اتجاه الطيران.

تتكون الخطوة الأولي في حساب الإحداثيات الأرضية للمعالم الجغرافية الظاهرة علي الصورة الجوية من استخدام نظام إحداثيات أرضية نسبية (أي أنها منسوبة للإحداثيات الأرضية لنقطة النظير ذاتها) يتكون من:

١. مركز النظام في مسقط النقطة الرئيسية علي الأرض، أي نقطة النظير Nadir.

٢. المحور السيني علي الأرض X يقع في مستوي رأسي واحد مع المحور السيني للصورة.

٣. المحور الصادي علي الأرض Y يقع في مستوي رأسي واحد مع المحور الصادي للصورة.



شكل (٣-١٠) الإحداثيات علي الصورة الجوية وعلي الأرض

من المعادلات التالية يمكننا حساب قيم الإحداثيين السيني و الصادي (النسبية) علي الأرض لأي معلم جغرافي (X_A, Y_A) تم قياس إحداثياته علي الصورة الجوية (x_A, y_A) :

$$X_A = (h - H_A) \times x_a / f \qquad 3\text{-}10$$

$$Y_A = (h - H_A) \times y_a / f \qquad 3\text{-}11$$

حيث:

X_A, Y_A	الإحداثيات الأرضية النسبية للنقطة A

x_A, y_A	الإحداثيات علي الصورة الجوية للنقطة A

H_A منسوب النقطة A

h ارتفاع الطيران

f البعد البؤري للكاميرا

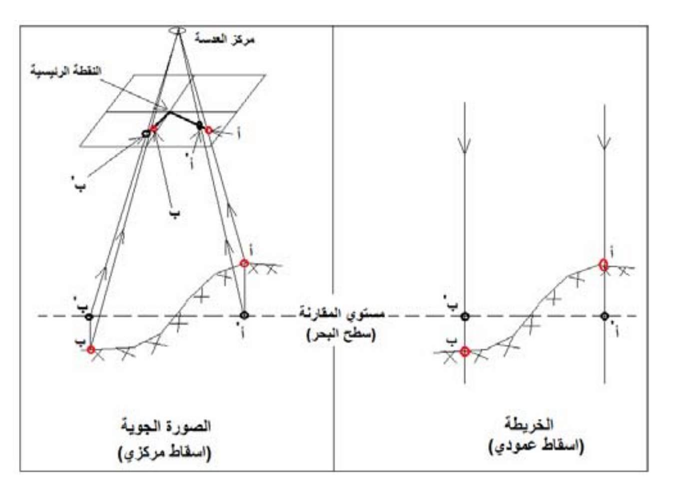
فإذا عرفنا الإحداثيات الأرضية الحقيقية لنقطة النظير (من خرائط قديمة أو باستخدام أجهزة الجي بي أس) يمكن حساب الإحداثيات الأرضية الحقيقية لأي معلم جغرافي علي الصورة الجوية.

٣-٦-٤ الإزاحة على الصور الجوية

تختلف الصورة الجوية عن الخريطة اختلافا جوهريا ناتجا من طبيعة الإسقاط المستخدم في كلاهما، فالخريطة ناتجة عن إسقاط عمودي Orthogonal Projection بينما الصورة ناتجة من إسقاط مركزي للمعالم الجغرافية Perspective Projection. تعرف الخريطة بأنها المسقط الأفقي الناتج عن إسقاط أشعة متوازية عمودية علي الأرض. وحيث أن تضاريس سطح الأرض مختلفة من مكان الي آخر فأن الخريطة تمثل مسقط هذه الأشعة علي مستوي معين للمقارنة وهو مستوي سطح البحر. وحيث أن الأشعة متوازية في حالة إسقاط الخريطة فأن النقطة الأرضية (أ) في الجزء الأيمن من الشكل التالي ستقع هي و مسقطها علي سطح البحر (أ') في نفس الموضع علي الخريطة. وبمعني آخر فأن ما يظهر علي الخريطة - طبقا لتعريفها - هو مسقط النقطة علي سطح البحر، وهذا هو الأساس العلمي للخريطة أيا كان نوعها و مقياس رسمها. وبذلك فأنه لو كانت النقطة الأرضية تقع أعلي من مستوي سطح البحر (مثل النقطة أ) أو كانت تقع أسفل مستوي سطح البحر (مثل النقطة ب) فأن موقعها علي الخريطة لن يتغير. أي أن اختلاف تضاريس سطح الأرض لا يؤثر في إعداد الخرائط بسبب طبيعة و خصائص هذا الإسقاط العمودي المستخدم في إنتاج الخرائط.

علي الجانب الأخر فأن الصورة الجوية ملتقطة من نقطة مركزية ألا وهي مركز العدسة في الكاميرا الجوية حيث أن كل الأشعة تتجمع في هذا المركز قبل أن تصل الي مستوي الفيلم داخل الكاميرا. ولذلك فأن نوع الإسقاط المستخدم في التصوير الجوي هو الإسقاط المركزي كما يتضح من الجزء الأيسر في الشكل التالي. وبتدقيق النظر في هذا الشكل سنجد أن النقطة الحقيقية الظاهرة في الصورة الجوية هي نقطة (أ) أي النقطة الأرضية الحقيقية، بينما المطلوب لكي نتمكن من رسم الخريطة أن نعرف موضع النقطة أ' علي الصورة (وهي نقطة تخيلية غير موجودة فعلا) حيث أنها هي التي تعبر عن مسقط النقطة علي مستوي سطح البحر وهي التي يجب أن تكون ممثلة علي الخريطة. وبكلمات أخري فأن النقطة الافتراضية (أ') هي

التي يجب أن تظهر علي الصورة في حالة أننا نريد أن نحول هذه الصورة الي خريطة، بينما الموجود فعلا علي الصورة هي النقطة (أ). ومن هنا نقول أن النقطة المطلوبة (أ') قد انزاحت أو تحركت من مكانها الحقيقي أو مكانها المفترض علي الخريطة الي موقع آخر (أ) هو الظاهر فعلا علي الصورة الجوية.

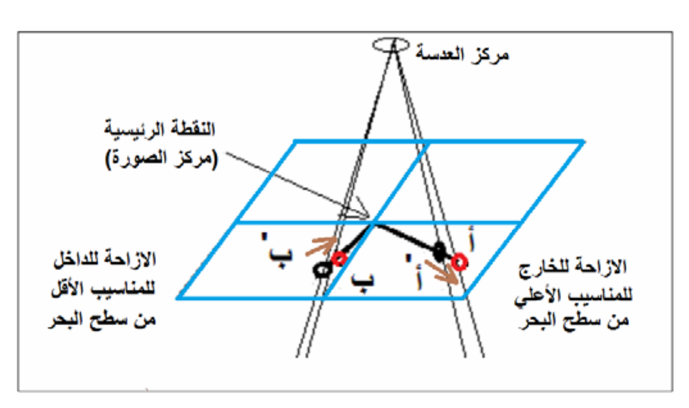


شكل (٣-١١) الإزاحة الناتجة عن التضاريس

تعرف الإزاحة Displacement بأنها ظهور تفاصيل سطح الأرض منزاحة أو متحركة عن مواقعها الحقيقية (المطلوبة علي الخريطة). فقيمة الإزاحة عند النقطة (أ) في الشكل هي المسافة بين كلا من النقطة الظاهرة (أ) و النقطة الافتراضية الحقيقية (أ'). وبالتالي فأن الإزاحة تتسبب في عدم احتفاظ الظاهرات الجغرافية علي الصور الجوية لمسافات و علاقات مكانية مماثلة للمسافات و العلاقات المناظرة علي الخريطة. ومن هنا فيجب إزالة أو تصحيح الإزاحة قبل التعامل مع الصور الجوية بهدف إنتاج الخرائط. تتعدد الأسباب التي تؤدي لوجود الإزاحة علي الصور الجوية وتشمل اختلاف تضاريس سطح الأرض، واختلاف مقياس رسم الصور الجوية من موقع لآخر علي الصورة، و عيوب العدسات و الكاميرات، و ميل الطائرة أثناء التصوير، وأيضا عيوب الأفلام والورق المستخدم في تصوير و طباعة الصور الجوية. لكن كل هذه العوامل قد تم التغلب عليها بتقدم التقنيات المستخدمة في التصوير الجوي سواء في العدسات عالية الدقة والأجهزة و المعدات التقنية الحديثة. ويبقي اختلاف تضاريس سطح الأرض Relief Displacement هو أهم أسباب الإزاحة التي يجب حسابه و حذف تأثيره من الصور الجوية قبل استخدامها في إنتاج الخرائط.

للتعرف أكثر علي خصائص الإزاحة نلاحظ في الشكل التالي (وهو مجرد تكبير لجزء من الشكل السابق) أن:

- عند النقطة أ التي منسوبها أعلي من مستوي سطح البحر فأن موضع النقطة الحقيقية علي الصورة الجوية (أ') قد انزاح علي امتداد الخط الواصل بينها وبين مركز الصورة أو النقطة الرئيسية في الاتجاه للخارج - أي بعيدا عن مركز الصورة - و بمسافة تساوي أ' - أ.
- عند النقطة ب التي منسوبها أقل من مستوي سطح البحر فأن موضع النقطة الحقيقية علي الصورة الجوية (ب') قد انزاح علي امتداد الخط الواصل بينها وبين مركز الصورة أو النقطة الرئيسية في الاتجاه للداخل - أي مقتربا من مركز الصورة - و بمسافة تساوي ب'- ب.
- بذلك نستنتج أنه كلما زاد منسوب الظاهرة الجغرافية (ارتفاعها عن سطح البحر) كلما زادت قيمة الإزاحة عندها علي الصورة الجوية ، والعكس صحيح أيضا فكلما قل منسوب الظاهرة الجغرافية (ارتفاعها عن سطح البحر) كلما قلت قيمة الإزاحة عندها علي الصورة الجوية.



شكل (٣-١٢) خصائص الإزاحة الناتجة عن التضاريس

حساب قيمة الإزاحة

يمكن حساب قيمة الإزاحة لأي معلم علي الصورة الجوية بمعرفة منسوب قمته (ارتفاع القمة عن مستوي سطح البحر) و ارتفاع الطيران للصورة الجوية ثم قياس بعد هذا المعلم عن النقطة الرئيسية (مركز) الصورة الجوية بالمعادلة التالية:

$$D = H_{top} \times d / h \qquad (3\text{-}12)$$

حيث:

D الإزاحة

H_{top} منسوب قمة الظاهرة

d بعد قمة الظاهرة علي الصورة عن النقطة الرئيسية

h ارتفاع الطيران

الاستفادة من الإزاحة

المعالم الجغرافية الرأسية (أي لها ميل واحد ثابت وليست متدرجة الميول) مثل الأبراج و المباني السكنية تظهر أحيانا علي الصورة الجوية بحيث يمكن تحديد قمة المعلم و قاعه أيضا علي الصورة. وفي مثل هذه الحالة فأن الإزاحة الحادثة لهذا المعلم تعد هي المسافة علي الصورة الجوية بين قمة المعلم و قاعه، أي يمكن قياسها بالمسطرة علي الصورة. هنا يمكننا أن نستفيد من قياس الإزاحة لمثل هذه المعالم الرأسية في حساب ارتفاع المعلم، أي حساب ارتفاع قمة المعلم عن قاعه وليس منسوب المعلم (فالمنسوب مرة أخري هو الارتفاع عن سطح البحر).



شكل (٣-١٣) مثال لصورة بها إزاحة ناتجة عن التضاريس

$$h_{item} = D \times h / d \qquad (3\text{-}13)$$

حيث:

h_{item} ارتفاع الظاهرة الرأسية

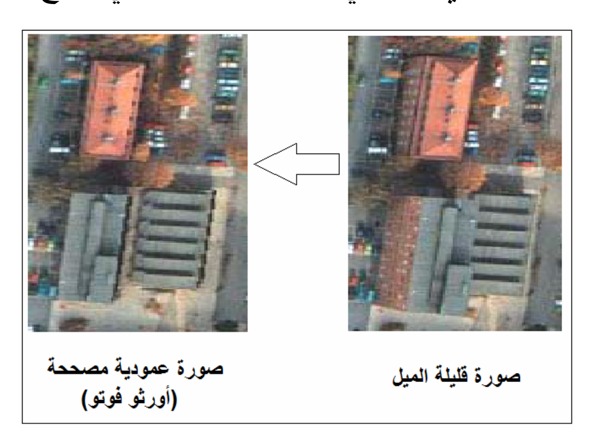
D الإزاحة

d بعد قمة الظاهرة علي الصورة عن النقطة الرئيسية

h ارتفاع الطيران

الصور الجوية المصححة

تعد الإزاحة أحد أهم أخطاء الصور الجوية قليلة الميل والتي يجب معالجتها و تصحيحها قبل استخدام الصور الجوية في إنتاج الخرائط. وتتم هذه العملية باستخدام أجهزة خاصة تسمي أجهزة Orthophotoscope والذي يقوم بتحويل الصورة قليلة الميل الي صورة رأسية يطلق عليها اسم الصورة الجوية العمودية أو الأورثو فوتو Ortho Photo أو الصورة الجوية الخالية من تأثير إزاحة التضاريس و ميل الكاميرا. وتتميز الصورة الجوية العمودية بأنها مازالت تحتوي صورة جميع المعالم الجغرافية وكل معلومات الصورة الجوية الأصلية إلا أنها ذات مسقط عمودي وبالتالي يمكن استخدامها في إنتاج الخرائط.



شكل (٣-١٤) تصحيح الإزاحة و إنتاج الصور الجوية العمودية

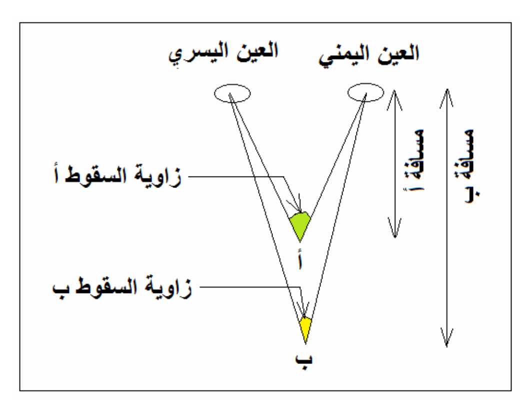
ومن أنواع الخرائط ما يسمي بالخرائط المصورة الجوية أو Ortho Photomap وهي الصورة الجوية العمودية بعد إضافة أساسيات الخريطة عليها (مثل مقياس الرسم و اتجاه الشمال و شبكة الإحداثيات) مع أسماء المعالم الجغرافية (مثل أسماء الشوارع).



شكل (٣-١٥) مثال للخرائط المصورة الجوية

٣-٦-٥ الإبصار المجسم

هل سألت نفسك مرة لماذا خلق الله عز و جل لك عينين و ليس عينا واحدة؟ هل سألت نفسك كيف تستطيع أن تشعر وأنت تعبر الطريق بأن السيارة القادمة مازالت بعيدة عنك؟ كيف يمكنك الإحساس بمدي بعد أو قرب الأشياء من حولك؟ كيف تتم عملية الرؤية عند الإنسان؟ تبدأ العملية بسقوط الأشعة الضوئية علي الأجسام ثم ترتد أو تنعكس منها الي عين الإنسان (مثل العدسة في الكاميرا) لتمر هذه الأشعة من بؤرة العين وتسقط علي الشبكية الموجودة داخل العين (مثل الفيلم في الكاميرا) لتتكون صورة داخل الشبكية لهذه الأجسام ثم يتم نقل هذه الصورة من خلال الأعصاب الي المخ الذي يقوم بتفسير هذه الصورة ومعرفة طبيعة كل جسم من هذه الأجسام (شجرة أم سيارة ..... الخ). حتى الآن فأن عملية الرؤية عند الإنسان لا تحتاج إلا صورة واحدة أو عين واحدة، فما الهدف من وجود العين الثانية أو تكوين الصورة الثانية (التي تتكون بنفس الطريقة من الأشعة الداخلة للعين الثانية) في المخ؟ فلننظر الي الشكل التالي: للنقطة (أ) ستتكون صورتين في المخ أحداهما صورة قادمة من العين اليمني والثانية صورة قادمة من العين اليسرى، ويستطيع المخ أن يقدر قيمة الزاوية بين الشعاعين الصادرين من النقطة (أ) ولنسميها زاوية السقوط (أو زاوية الابتعاد) عند أ. أما الهدف الثاني أو النقطة الثانية (ب) فستتكون لها صورتين أيضا من كل عين من العينين وأيضا يستطيع المخ أن يقدر قيمة زاوية السقوط عند ب. تأتي الخطوة الثانية من قيام المخ بمقارنة قيمة زاوية السقوط عند أ وزاوية السقوط عند ب، وحيث أن زاوية السقوط عند أ أكبر من زاوية السقوط عند ب فأن المخ يستنتج أن الهدف الموجود عند النقطة أ أقرب للإنسان من الهدف الموجود عند النقطة ب. وبذلك يستطيع المخ أن يشعر بالمسافات و يفرق بين الأهداف القريبة و الأهداف البعيدة، وهذه العملية تعتمد علي وجود صورتين لكل هدف حتى يمكن تقدير زاوية السقوط. إذن وجود عينين للإنسان هو الشرط الأساسي ليتمكن مخه من تقدير مسافات الأهداف المحيطة به، وهذا ما نطلق عليه اسم "الإبصار المجسم Stereoscopic Vision".



شكل (٣-١٦) مفهوم الإبصار المجسم في العين البشرية

الإبصار المجسم هو القدرة علي تقدير الأبعاد الثلاثية للأهداف والحصول علي أشكالها الحقيقية في الفراغ، بمعني أنه القدرة علي رؤية وتقدير الأبعاد الثلاثية للأهداف والتي تشمل البعدين الأفقيين (الطول و العرض) والبعد الثالث العمودي وهو المسافات (مدي الاقتراب و الابتعاد). وتجدر الإشارة لوجود قدرة محددة للمخ البشري في تقدير قيمة زاوية السقوط وتتراوح تقريبا بين الحد الأدنى البالغ ٢٠ ثانية (الثانية = ٣٦٠٠/١ من الدرجة) و الحد الأقصى البالغ ١٦ درجة، ومن ثم فأن المسافات التي يستطيع المخ البشري تقديرها تتراوح تقريبا بين ٢٠ سنتيمتر و ٧٠٠ سنتيمتر في المتوسط. أما ما هو خارج هذا النطاق فأن المخ يعتمد علي تقدير المسافات بطريقة تقريبية من خلال مقارنة الأحجام و المواقع النسبية للأهداف.

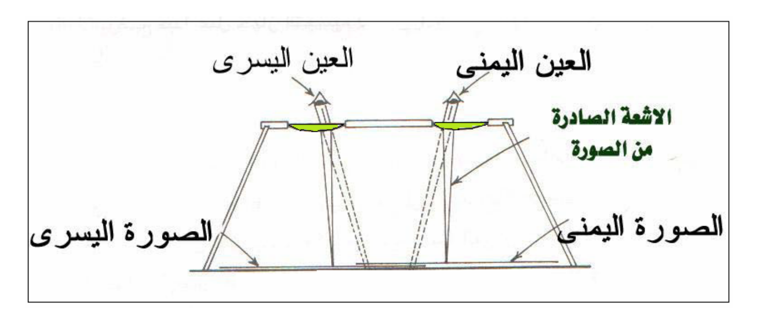
يأتي الآن السؤال الهام و الحيوي ألا وهو كيف يمكن الاستفادة من مفهوم الإبصار المجسم للإنسان في تطبيقات التصوير الجوي؟ أو بمعني آخر: هل يمكننا إبصار الأهداف علي الصور الجوية إبصارا مجسما بحيث نراها بشكلها الحقيقي وبأبعادها الثلاثية؟ نعم يمكن تحقيق ذلك لكن بعدة شروط تسمي شروط الإبصار المجسم وهي:

١. أن يتوافر صورتين جويتين لنفس المنطقة ملتقطتين من نفس الارتفاع وفي نفس اللحظة تقريبا.
٢. أن نضع الصورتين أمام عيني المستخدم بنفس ترتيب التقاطهم (أي نضع الصورة اليمني أمام العين اليمني و الصورة اليسري أمام العين اليسري).
٣. أن تنظر العين اليمني الي الصورة اليمني فقط (لا تري الصورة اليسري) وأيضا أن تنظر العين اليسري الي الصورة اليسري فقط.
٤. أن تكون قدرة أو قوة الرؤية لكلتا العينين متساوية أو متقاربة.

<u>أجهزة و طرق الإبصار المجسم من الصور الجوية</u>

<u>(أ) أجهزة الاستريسكوب</u>

أجهزة الاستريسكوب Stereoscopes هي أجهزة مخصصة لعملية الإبصار المجسم من الصور. تعتمد الفكرة العامة لأجهزة الاستريسكوب علي وجود عدستين كل واحدة مخصصة لأحدي عيني المستخدم بحيث توضع الصورتين تحت العدستين ويقوم المستخدم بملاصقة عينه اليمني علي العدسة اليمني وملاصقة عينه اليسري علي العدسة اليسري حتى يستطيع الحصول علي الإبصار المجسم للصور.

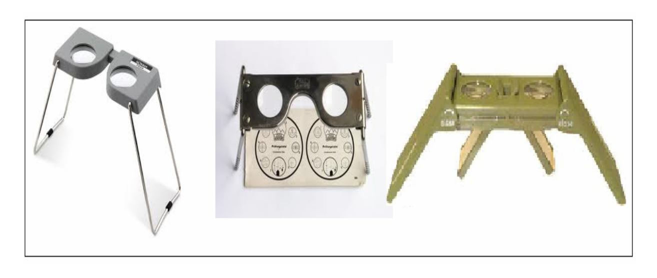


شكل (٣-١٧) مفهوم عمل أجهزة الاستريسكوب

يوجد نوعين أساسين من أجهزة الاستريسكوب وهما استريسكوب الصور الصغيرة و استريسكوب الصور الكبيرة.

استريسكوب الصور الصغيرة:

يعد هذا النوع هو الأبسط و الأرخص من أنواع أجهزة الاستريسكوب للحصول علي الإبصار المجسم، ويتكون من عدستين صغيرتين مثبتتين في إطار معدني خفيف. ولحجمه البسيط فيطلق علي هذا النوع اسم الاستريسكوب الجيبي Pocket Stereoscope حيث أنه يمكن وضعه في الجيب. ومن عيوبه أن عدساته بسيطة وذات قوة تكبير ليست عالية (تكبير بقوة ضعفين أو ثلاثة أضعاف بحد أقصي) ، كما أنه وبسبب حجمه فلا يصلح إلا للتعامل مع الصور الصغيرة فقط ولذلك فهو لا يستخدم إلا للتدريب، كما انه لا يصلح للقياسات الدقيقة من الصور.



شكل (٣-١٨) الاستريسكوب الجيبي

استريسكوب الصور الكبيرة:

تعتمد فكرة عمل هذه النوعية من أجهزة الاستريسكوب علي تكبير المسافة بين الأهداف المتناظرة علي الصورتين لتتناسب مع المسافة بين عيني المستخدم، وذلك عن طريق استخدام مجموعة من المرايا أو المناشير، وبالتالي فيمكن استخدام صور كبيرة للحصول منها علي الإبصار المجسم. كما تشتمل هذه النوعية أيضا من الأجهزة علي عدسات مكبرة تجعل

المستخدم يري أدق تفاصيل الصور الجوية الكبيرة. لكن هذا النوع من الأجهزة أغلي سعرا من أجهزة الاستريسكوب الجيبي.



شكل (٣-١٩) استريسكوب الصور الكبيرة

تنقسم أجهزة استريسكوب الصور الكبيرة الي نوعين: الاستريسكوب ذو المرايا Mirror Stereoscope و الاستريسكوب الزووم Zoom Stereoscope. في النوع الأول يتم وضع مرآتان خارجيتان في هيكل الجهاز وأيضا مرآتان صغيرتان داخليتان بهدف تكبير المسافات بين الصورتين و زيادة مجال الرؤية مما يسمح بالتعامل مع الصور الجوية الكبيرة وبقوة تكبير عالية. كما يضاف أيضا للجهاز منظار ذا قوة تكبير عالية (تصل الي ٨ أضعاف) ليسمح للمستخدم بتكبير تفاصيل معالم الصور الجوية. أما الاستريسكوب الزووم فيعد أكثر تقدما من الاستريسكوب ذو المرايا حيث أنه لديه إمكانية التحرك - في الاتجاهين - علي المنضدة الموضوع عليها الصورتين وذلك بدلا من تحريك الصورتين في الاستريسكوب ذو المرايا، مما يجعل استخدامه أسهل وأسرع. أيضا فأن قوة التكبير في أجهزة الاستريسكوب الزووم قد تصل الي خمسة عشر ضعفا مما يسمح برؤية دقيقة لمعالم الصور الجوية.

<u>(ب) طرق أخري للإبصار المجسم</u>

توجد طرق أخري للحصول علي الإبصار المجسم من الصور الجوية ومنها طريقة الألوان المتكاملة (أو الأناجليف). في هذه الطريقة يتم طباعة كل صورة جوية بلون متكامل مع لون الصورة الثانية (لونين مجموعهما يعطي اللون الأسود)، كأن يتم طباعة الصورة الأولي باللون الأحمر و الصورة الثانية باللون الأزرق. ولتطبيق شرط الإبصار المجسم - الذي يتطلب ألا تري عيني الراصد إلا الصورة المقابلة لها فقط - يتم استخدام نظارة لها عدسة حمراء و الأخرى زرقاء. فعندما تكون الصورة الحمراء أمام العين التي تضع العدسة الحمراء فأن هذه

العدسة لا تسمح إلا بمرور الأشعة الحمراء فقط وبالتالي فأن هذه العين لن تري الأشعة الزرقاء القادمة من الصورة الثانية، ونفس الوضع سيتكرر مع العدسة الزرقاء التي لن تسمح إلا بمرور الأشعة الزرقاء القادمة من الصورة الثانية الي العين الثانية للمستخدم وبالتالي فأن كل عين لن تري إلا صورة واحدة فقط من الصورتين مما سينتج عته إبصارا مجسما في مخ المستخدم.



شكل (٣-٢٠) طريقة الألوان المتكاملة (الأناجليف)

يمكن أيضا استخدام طريقة الألوان المتكاملة مع أجهزة الحاسوب حيث يتصل بالجهاز شاشتين ويتم عرض كل صورة من الصورتين الجويتين علي شاشة ويرتدي المستخدم النظارة المخصصة بحيث تكون عدستها الحمراء مقابلة للشاشة التي تعرض الصورة الحمراء وعدستها الزرقاء مقابلة للشاشة التي تعرض الصورة الزرقاء. حديثا يتم استخدام أجهزة حاسوب خاصة لتطبيقات القياس من الصور الجوية تسمي محطات العمل ذات الشاشتين، وهي أجهزة ذات تقنية عالية ولها برامج متخصصة تسمح بعرض الصور المتتالية في نفس المكان بسرعة فائقة جدا مما يسمح للمستخدم رؤية الصورتين لنفس المنطقة بطريقة مستمرة فينتج عنها إبصارا مجسما.

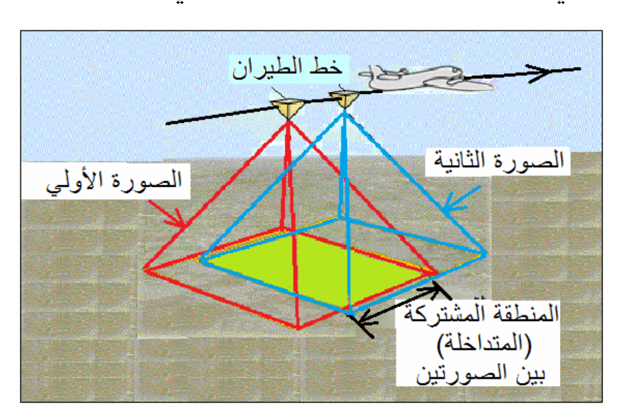


شكل (٣-٢١) محطات العمل الرقمية ذات الشاشتين

٣-٦-٦ التداخل بين الصور الجوية

من أهم شروط الإبصار المجسم الحصول علي صورتين لنفس المنطقة ملتقطتين في نفس الوقت تقريبا (كما في الصورتين اللتين تتكونان من كلتا عيني الإنسان)، فكيف سيتم ذلك في الصور الجوية الملتقطة من الطائرة؟. تطير الطائرة بسرعة لا تسمح بالتقاط صورتين متتاليتين لنفس المنطقة الجغرافية، لكن إن استطعنا التحكم في عملية التقاط الصور بسرعة تتناسب مع سرعة الطائرة فستوجد منطقة مشتركة بين كل صورتين متتاليتين، أي أن نفس هذه المنطقة ستظهر في الصورة الأولي و ستظهر أيضا في الصورة الثانية. وهذا المبدأ هو ما يسمي بمبدأ التداخل بين الصور الجوية Overlap.

يوجد نوعين من أنواع التداخل بين الصور الجوية: (١) التداخل الطولي Longitudinal Overlap و (٢) التداخل الجانبي Side Overlap . التداخل الطولي هو وجود منطقة مشتركة بين كل صورتين متتاليتين في نفس خط الطيران. وغالبا تبلغ نسبة التداخل الطولي بين كل صورتين متتاليتين ٦٠% من مساحة المنطقة، أي أن ٦٠% من مساحة المنطقة الظاهرة في الصورة الأولي ستظهر أيضا في الصورة الثانية، وبالمثل فأن ٦٠% من مساحة المنطقة الظاهرة في الصورة الثانية ستظهر أيضا في الصورة الثالثة، .... وهكذا.

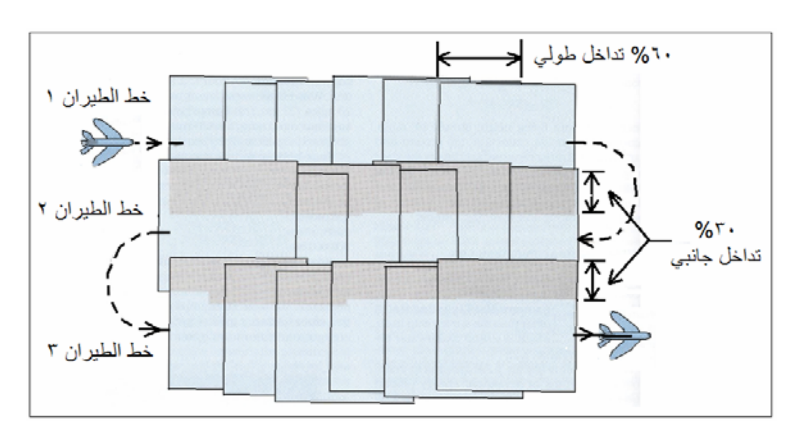


شكل (٣-٢٢) التداخل الطولي

التداخل الطولي هو الذي يحقق شروط الحصول علي الإبصار المجسم من الصور الجوية، وبالتالي فهو أساس من أساسيات القياسات الدقيقة بهدف إنتاج الخرائط من الصور الجوية. فالمنطقة المشتركة بين الصورتين المتتاليتين هي التي تحقق شروط الإبصار المجسم وهي التي يتم استخدامها في عمل القياسات الدقيقة لخصائص المعالم الجغرافية. أما في حالة التصوير الجوي بهدف تفسير المعالم الجغرافية (والذي لا يتطلب قياسات دقيقة من الصور)

فالتداخل ليس شرطا أساسيا في مثل هذه المشروعات، لكن إذا تحقق تداخل بسيط (٢٠-٣٠%) فسيكون مفيدا عند عمل الموزايك أو الفسيفساء. كما يفيد التداخل أيضا في إمكانية الاستغناء عن أية صور بها عيوب (مثل ضعف الإضاءة أو شدة الميل) دون الحاجة لإعادة التصوير مرة أخري، حيث سيظهر هذا الجزء من سطح الأرض في عدة صور أخري.

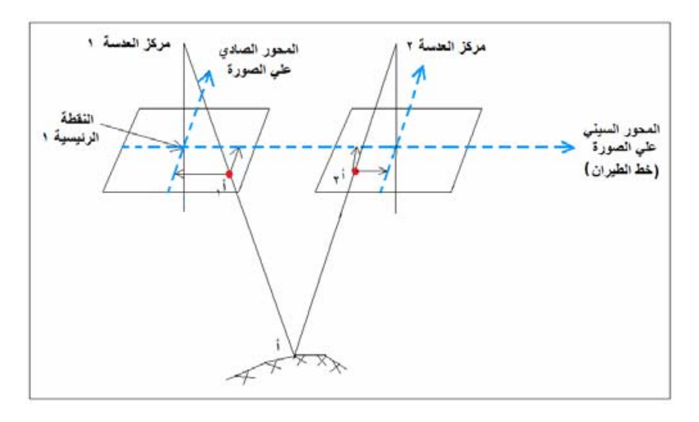
في حالة كون المنطقة المراد تصويرها لا تظهر كاملة في خط طيران واحد فيتم تنفيذ عدد من خطوط الطيران المتتالية لتصوير كامل هذه المنطقة. ولترتيب الصور بين خطوط الطيران المختلفة نلجأ الي النوع الثاني من أنواع التداخل وهو التداخل الجانبي. التداخل الجانبي هو توافر منطقة مشتركة بين كل خطي طيران متتاليين، وتبلغ نسبة التداخل الجانبي في الغالب ٣٠%.



شكل (٣-٢٣) التداخل الجانبي

٣-٦-٧ الابتعاد وقياس الارتفاعات من الصور الجوية

الابتعاد (أو الابتعاد الاستريسكوبي أو الابتعاد المطلق أو البارالاكس Parallax) هو اختلاف المواضع النسبية للنقاط علي الصور الجوية المتتالية نتيجة اختلاف موضع التصوير. ولنأخذ مثلا لنقطة ظهرت في الصورة الجوية الأولي عند إحداثيات (٥،-٤) علي سبيل المثال، ونتيجة حركة الكاميرا الموجودة في الطائرة فأنها ستقطع مسافة معينة في خط الطيران قبل أن تلتقط الصورة الثانية والتي فيها سيتغير موضع هذه النقطة لتظهر عند إحداثيات (-٣،-٤) علي سبيل المثال. لاحظ أن المحور السيني في نظام إحداثيات الصور الجوية يكون في اتجاه خط الطيران (أرجع للشكل ٤-٣). ويحدث الابتعاد في المحور السيني (اتجاه خط الطيران) فتتغير قيمة الإحداثي السيني للنقطة من الصور الأولي الي الصورة الثانية نتيجة للابتعاد و تغير موضع التصوير نفسه بين الصورتين.



شكل (٣-٢٤) الابتعاد علي الصور الجوية

يعد الابتعاد من أساسيات الحصول علي الإبصار المجسم وبالتالي فهو مفيد جدا في إجراء القياسات الدقيقة من الصور الجوية. كما أن قيمة الابتعاد تتناسب طرديا مع منسوب النقطة، فكلما زاد منسوب النقطة (ارتفاعها غن مستوي سطح البحر) كلما زاد ابتعادها علي الصور الجوية المتتالية والعكس صحيح.

حساب الابتعاد

توجد عدة طرق لحساب قيمة الابتعاد للأهداف الظاهرة علي الصور الجوية، إلا أن أبسط هذه الطرق لحساب قيمة الابتعاد (أو الابتعاد المطلق) لأي نقطة يتم من خلال مقارنة قيم الإحداثي السيني لهذه النقطة علي الصورتين المتتاليتين، فالابتعاد ما هو إلا الفرق أو التغير في موقع النقطة علي كلتا الصورتين:

$$P = x_1 - x_2 \qquad (3\text{-}14)$$

حيث:

P الابتعاد

x_1 الإحداثي السيني علي الصورة الأولي

x_2 الإحداثي السيني علي الصورة الثانية

قياس الابتعاد علي الصور الجوية

يعد قياس فرق الابتعاد بين نقطتين أسهل و أسرع من قياس الابتعاد المطلق لكل نقطة منهما علي حدي. عمليا فأنه إذا توافرت نقطة معلومة الابتعاد (أي تم قياس الابتعاد المطلق لها) وأمكن قياس فرق الابتعاد بين هذه النقطة و نقطة أخري فيمكن حساب الابتعاد للنقطة الثانية،

وهكذا فأن قياس فرق الابتعاد يمكننا من حساب قيم الابتعاد المطلق لكل النقاط في منطقة التداخل بصورة سريعة. وهذا المبدأ هو الذي تم تطبيقه لتطوير جهاز يستخدم في قياس الابتعاد علي الصور الجوية وهو ما أطلق عليه اسم "ذراع الابتعاد parallax bar" أو الاستريوميتر، ويستخدم مع أجهزة الاستريسكوب.



شكل (٣-٢٥) ذراع قياس الابتعاد علي الصور الجوية

<u>الاستفادة من قيمة الابتعاد</u>

يستخدم الابتعاد في حساب عدد من القياسات التي يمكن استنباطها من الصور الجوية والتي تكون أساسية في رسم الخرائط، فالابتعاد يستخدم في حساب الإحداثيات الأرضية لجميع المعالم المكانية الظاهرة في منطقة التداخل بين الصورتين وأيضا في حساب مناسيب هذه المعالم بالإضافة لقياس ارتفاع الأبراج و المنشئات الرأسية.

<u>(أ) حساب المناسيب:</u>

يمكن حساب منسوب أي نقطة من خلال قياس الابتعاد عندها ومعرفة قيمة كلا من خط القاعدة الجوية Air Base (المسافة الأرضية الحقيقية بين مركزي الصورتين) و ارتفاع الطيران و البعد البؤري للكاميرا المستخدمة كالتالي:

$$H_A = h - (B \times f \div P_A) \qquad 3\text{-}15$$

حيث:

H_A منسوب النقطة A

h ارتفاع الطيران

B خط القاعدة الجوية

f البعد البؤري

P_A ابتعاد النقطة A

(ب) حساب الإحداثيات الأرضية:

يمكن حساب الإحداثيات الأرضية لأي نقطة (منسوبة الي نقطة النظير) بمعرفة قيمة الابتعاد عند هذه النقطة بالإضافة الي إحداثيات هذه النقطة علي الصورة الجوية وقيمة خط القاعدة الجوية كالتالي:

$$X_A = x_a \times B \div P_A \quad (3\text{-}16)$$

$$Y_A = y_a \times B \div P_A \quad (3\text{-}17)$$

حيث:

X_A, Y_A الإحداثيات الأرضية للنقطة A

x_a, y_a الإحداثيات علي الصورة للنقطة A

B خط القاعدة الجوية

P_A ابتعاد النقطة A

٣-٧ تصميم خطة الطيران والتصوير الجوي

يتكون تصميم خط الطيران و التصوير الجوي من تحديد عدة عناصر مثل تحديد عدد خطوط الطيران و تحديد ارتفاع الطيران و تحديد الفترة الزمنية بين التقاط كل صورتين متتاليتين وعناصر أخري كثيرة. إلا أن تحديد الهدف من مشروع التصوير الجوي هو أهم العناصر المؤثرة في تصميم خطة الطيران و التصوير. فكما سبق الذكر أن التصوير الجوي وبصفة عامة إما أن يهدف الي إنتاج و تحديث الخرائط أو أن يهدف الي الحصول علي معلومات عن المعالم الجغرافية من تفسير الصور الجوية. ولكل هدف منهما متطلبات خاصة في الصور الجوية وعناصر محددة في خطة الطيران و طبيعة التصوير الجوي ذاته. فعلي سبيل المثال فأن إنتاج الخرائط وعمل القياسات الدقيقة من الصور الجوية يتطلب الحصول علي الإبصار المجسم مما يعني أنه لا بد من وجود ٦٠% تداخل طولي بين كل صورتين متتاليتين مما يتطلب تحديد فترة زمنية معينة بين التقاط كل صورتين متتاليتين. وعلي الجانب الآخر فان

كان هدف مشروع التصوير الجوي هو تفسير الصور فالتداخل هنا ليس شرطا أساسيا أو علي الأقل ليس من الضروري الالتزام بقيمة ٦٠% من التداخل الطولي.

تشمل عناصر تصميم خطة الطيران النقاط الرئيسية التالية:

(١) تحديد مقياس الرسم المتوسط للصور:

يعتمد تحديد مقياس الرسم المتوسط للصور الجوية المطلوبة بهدف إنتاج الخرائط علي قيمة مقياس رسم الخرائط المطلوب إنتاجها. إن كان الهدف من التصوير هو إنتاج الخرائط التفصيلية فأن الصور الجوية تتطلب درجة تمييز عالية بين المعالم الجغرافية أي أن التصوير يجب أن يتم بمقاييس رسم كبيرة (مثلا ١ : ٥٠٠٠). بينما إن كانت الخرائط المطلوب إنتاجها خرائط جيولوجية أو خرائط تربة علي سبيل المثال فهي لا تتطلب الدقة العالية ومن ثم يمكن التصوير بمقاييس رسم صغيرة (مثلا ١ : ١٠٠،٠٠٠). وبصفة عامة فأن مقياس الرسم المتوسط للصور الجوية يكون أصغر من مقياس رسم الخريطة المطلوبة بحدود ٣-٥ مرات.

(٢) تحديد نوع الكاميرا:

يعتمد نوع الكاميرا المستخدمة في التصوير الجوي علي البعد البؤري لها بالإضافة الي مجال الرؤية لها. وكما سبق الذكر في الفصل السابق فأن البعد البؤري للكاميرا مؤثر ويدخل في حساب كلا من ارتفاع الطيران و مقياس الرسم المتوسط للصور الجوية.

(٣) تحديد ارتفاع الطيران:

بمعرفة كلا من البعد البؤري للكاميرا المستخدمة و متوسط منسوب المنطقة الجغرافية المراد تصويرها يمكن حساب قيمة ارتفاع الطيران المطلوب (كما سبق الشرح في الجزء ٤-٣ من الفصل السابق). وبصفة عامة فكلما كان مقياس الرسم المطلوب كبيرا كلما انخفض ارتفاع الطيران اللازم، والعكس صحيح.

الجدول التالي يقدم أمثلة للعلاقات بين ارتفاع الطيران و مقياس الرسم المتوسط للصور الجوية ومقياس الرسم المطلوب لإنتاج الخرائط بفرض أن التصوير سيتم بكاميرا ذات بعد بؤري ١٥٣ ملليمتر:

ارتفاع الطيران (متر)	مقياس الرسم المتوسط للصور الجوية	مقياس رسم الخريطة المطلوبة
٣٥٠	١ : ٢٠٠٠	١ : ٥٠٠
٧٥٠	١ : ٥٠٠٠	١ : ١٢٥٠
١٥٠٠	١ : ١٠،٠٠٠	١ : ٢٥٠٠
٣٠٠٠	١ : ٢٠،٠٠٠	١ : ٥٠٠٠
٦٠٠٠	١ : ٤٠،٠٠٠	١ : ١٠،٠٠٠
١٥٠٠٠	١ : ١٠٠،٠٠٠	١ : ٢٥،٠٠٠

ونلاحظ انه كلما زاد ارتفاع الطائرة كلما صغر مقياس رسم الصورة وبالتالي كلما زادت مساحة الأرض المغطاة بها. ومن الناحية التقنية فانه كلما زاد ارتفاع الطائرة كلما كانت طبقات الهواء أكثر استقرارا وقل بذلك اهتزاز الطائرة وكانت إمكانية الطيران في خطوط مستقيمة أكثر تحكما. وغالبا يتم التصوير الجوي من ارتفاعات لا تقل عن ١.٥ كيلومترا و لا تزيد عن ١٥ كيلومترا.

(٤) تحديد اتجاه خطوط الطيران:

في حالة كون المنطقة المراد تصويرها لا يمكن تغطيتها بخط طيران واحد فيتطلب التصوير عدد من خطوط الطيران المتوازية. يعتمد تحديد اتجاه خطوط الطيران علي: (١)اتجاه تضاريس المنطقة الجغرافية، فالأفضل أن يتم التصوير موازيا لاتجاه تضاريس الأرض، (٢) اتجاه سرعة الرياح في وقت التصوير حيث يتم اختيار الاتجاه الأكثر استقرارا لحركة الطائرة. أما في حالة عدم وجود رياح مؤثرة وكون تضاريس الأرض لا تتغير بصورة كبيرة فيتم اختيار خط الطيران في اتجاه الضلع الأطول للمنطقة بحيث يتم تقليل عدد خطوط الطيران المطلوبة لتغطية كامل المنطقة الجغرافية.

(٥) تحديد قيمة التداخل:

كما أشرنا من قبل فأن التداخل الطولي بنسبة ٦٠% و التداخل الجانبي بنسبة ٣٠% يكونان ضروريان للتصوير الجوي الذي يهدف الي إنتاج الخرائط و القياسات الدقيقة. أما لمشروعات التصوير الجوي الهادفة لتفسير الصور الجوية فقد تقل هذه النسب الي النصف أو أقل، حيث أن التداخل بين الصور الجوية في مثل هذه المشروعات يهدف فقط لوجود منطقة تداخل بسيطة بين كل صورتين متتاليتين لإتمام عملية تكوين الموزايك.

(٦) تحديد الفترة الزمنية بين كل صورتين:

يعتمد حساب الفترة الزمنية بين التقاط كل صورتين متتاليتين علي مقياس الرسم المتوسط المطلوب للصور الجوية و علي أبعاد الصور الجوية ذاتها و سرعة الطيران وأيضا علي إن كان التداخل الطولي مطلوبا أم لا.

(٧) تحديد عدد خطوط الطيران:

يعتمد عدد خطوط الطيران اللازمة لتصوير منطقة جغرافية معينة علي عرض المنطقة وأبعاد الصورة الجوية و نسبة التداخل الجانبي المطلوبة بالإضافة الي مقياس الرسم المتوسط للصور الجوية.

(٨) تحديد الوقت المناسب للتصوير:

يعتمد اختيار الوقت المناسب لعملية التصوير الجوي علي الظروف المناخية كالرياح و الأمطار والعواصف الترابية، ويجب اختيار أنسب الأوقات الملائمة لحركة الطائرة وعدم تعرضها لتقلبات مناخية تؤثر في طيرانها وميلها أثناء التصوير. وكما سبق الذكر فأن الصور الجوية المستخدمة في إنتاج الخرائط هي التي لا يزيد ميل محور التصوير فيها عن ٤ درجات. وان زاد الميل عن هذه الحدود فلا يمكن تقويم الصور المائلة الي صور رأسية وبالتالي فلن يمكن إتمام عملية الإبصار المجسم و القياس الدقيق من هذه الصور. كما أن اختيار أنسب وقت خلال اليوم لعملية التصوير يجب أن يتم بعناية شديدة حتى تظهر المعالم الجغرافية علي سطح الأرض واضحة من حيث الإضاءة وألا توجد سحب أو غيوم في السماء تؤثر علي وضوح هذه المعالم علي الصور الجوية.

(٩) وضع علامات أرضية قبل التصوير:

للحصول علي الإحداثيات الحقيقية لكافة المعالم الظاهرة علي الصور الجوية يجب أن نعرف الإحداثيات الحقيقية لبعض من هذه المعالم، فكما رأينا من قبل أن حسابات الإحداثيات الأرضية من الصور الجوية تتم أولا في صورة نسبية حيث يتم حساب إحداثيات أي نقطة علي الصورة نسبة لنقطة النظير في هذه الصورة. عند تصوير المناطق في المدن نقوم بقياس الإحداثيات الحقيقية لبعض المعالم الظاهرة علي الصورة باستخدام أجهزة و طرق المساحة الأرضية أو استخدام تقنية الرصد علي الأقمار الصناعية المعروفة باسم الجي بي أس. وتتم هذه العملية قبل أو بعد إتمام التصوير الجوي ذاته، ومن خلال برامج حاسوبية يتم مقارنة الإحداثيات الحقيقية لهذه المعالم بقيمة إحداثياتها علي الصورة الجوية ومن ثم يمكن حساب الإحداثيات الحقيقية لكافة المعالم الأخرى علي الصورة. أما عند تصوير المناطق الزراعية و الصحراوية والتي لا يتوافر بها معالم محددة يمكن قياس إحداثياتها علي الصور فأننا نقوم قبل عملية

التصوير بإنشاء علامات اصطناعية علي الأرض ونقيس إحداثياتها الحقيقية بحيث أنها تكون علامات واضحة تظهر فيما بعد علي الصور الجوية عند التصوير.

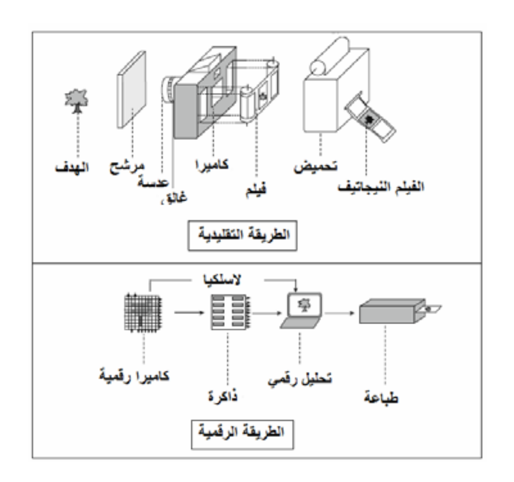


شكل (٣-٢٦) علامات أرضية اصطناعية

٣-٨ المساحة التصويرية الرقمية

تعد المساحة التصويرية الرقمية Digital Photogrammetry تطورا تقنيا لطرق المسح التصويري التقليدي بالاعتماد علي أجهزة الكمبيوتر في مراحل التصوير و التحليل و القياس من الصور الجوية. فبدلا من التصوير بالكاميرات التقليدية باستخدام الأفلام لتسجيل الصور فيتم استخدام الكاميرات الرقمية التي تسجل الصور بطريقة رقمية علي شريحة ذاكرة داخلية. وفي هذه الحالة لا توجد حاجة لعمليات تحميض الأفلام و طباعة الصور علي الورق حيث يتم نقل الصورة مباشرة من ذاكرة الكاميرا الرقمية الي جهاز الحاسب الآلي.

تتميز المساحة التصويرية الرقمية بعدة خصائص منها: درجة الوضوح المكاني resolution العالية، سرعة الحصول علي الصور، التشغيل والتحليل الآلي، إعادة إنتاج الصور بسرعة و تكلفة أقل، إمكانية الدمج المباشر في نظم المعلومات. كما ظهر أيضا أحد تطبيقات الصور عالية الدقة واستخداماتها الهندسية وأطلق عليه اسم المسح التصويري الأرضي Terrestrial Photogrammetry أو المسح التصويري القريب المدى Close Range Photogrammetry، حيث توضع الكاميرا الدقيقة علي حامل ثلاثي علي الأرض لالتقاط صور للمعالم الجغرافية (خاصة المباني و المنشئات الهندسية) واستخدام هذه الصور بعد معالجتها في القياسات الهندسية لهذه المعالم.



شكل (٣-٢٧) طرق الحصول علي الصور

وحديثا يتم الاعتماد علي أجهزة الماسحات scanners لتحويل الصور التقليدية (المطبوعة ورقيا) الي صور رقمية ومن ثم استخدام برامج المساحة التصويرية الرقمية في تحليلها و إنتاج الخرائط المساحية منها بصورة آلية. ويتكون نظام المساحة التصويرية الرقمية من عدة أجهزة تشمل: جهاز حاسب الي بمواصفات تقنية عالية من حيث سرعة المعالج و سعة التخزين وسرعة تداول أو نقل البيانات بين مكوناته المادية، شاشة (أو غالبا شاشتين) رؤية مجسمة لها القدرة علي عرض الصور بطريقة تسمح للمستخدم - من خلال أدوات بسيطة - رؤية النموذج المجسم، نظارات الرؤية المجسمة، أدوات القياس المجسم مثل الفأرة المخصصة لعمل القياسات ثلاثية الأبعاد لأي نقطة علي النموذج المجسم، بالإضافة لوحدات الإخراج مثل الطابعات Printers و الراسمات Plotters. وتوجد عدة برامج حاسوبية للمساحة التصويرية الرقمية ومنهم علي سبيل المثال برامج PS, PDV, Socetset.





شكل (٣-٢٨) نماذج لنظم مساحة تصويرية رقمية

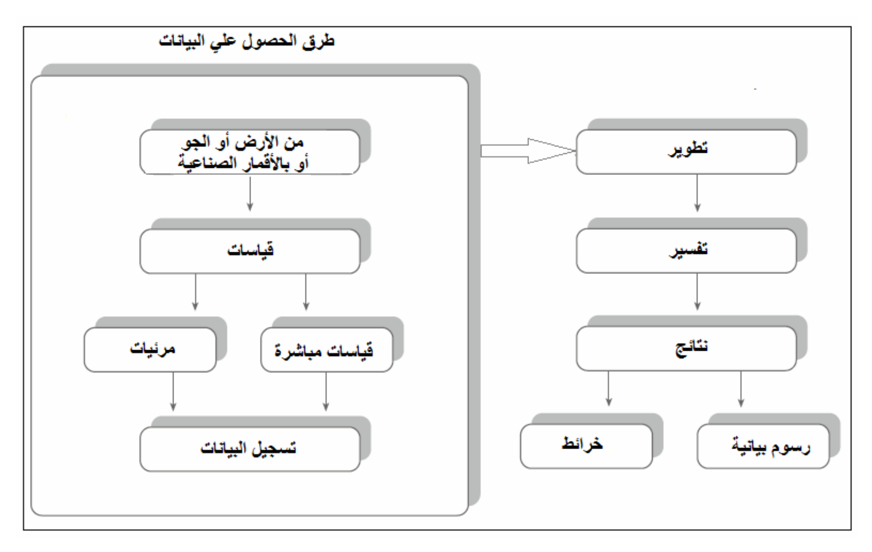
الفصل الرابع

الاستشعار عن بعد

٤-١ مقدمة

بصفة عامة فأن القياس من الصور يعتمد علي تقنيات تسمح بقياس معلم دون لمسه، حيث تجري القياسات من خلال الصور سواء الصور الجوية أو الصور من الأقمار الصناعية. إلا أن التصوير باستخدام الأقمار الصناعية قد أطلق عليه مصطلح الاستشعار عن بعد أو الاستشعار من بعد أو التحسس النائي Remote Sensing، كما أطلق علي الصور الفضائية اسم المرئيات Images للتفرقة بينها وبين الصور الجوية Photographs. ويتميز الاستشعار عن بعد بثلاثة خصائص رئيسية: (١) النظرة الشاملة synoptic vision لسطح الأرض و معالمه والغير متاحة عند استخدام الوسائل التقليدية، (٢) الدورة التكرارية repeating cycle حيث يمكن تجميع الأرصاد علي فترات زمنية متكررة مما يسمح بمتابعة التغيرات و تحديث البيانات باستمرار، (٣) الحصول علي البيانات في عدد من أطياف الطاقة الكهرومغناطيسية multispectral.

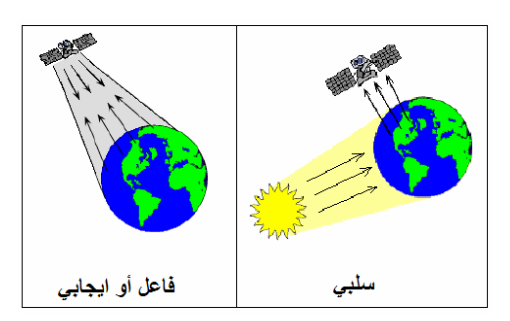
يتكون الحصول علي المعلومات بطرق الاستشعار عن بعد من ثلاثة مراحل: تجميع البيانات data collection سواء باستخدام نظم استشعار أرضية أو جوية أو فضائية، إجراء الحسابات اللازمة للبيانات data processing، تفسير و تحليل البيانات data interpretation ثم عرض النتائج والتي غالبا تكون في صورة خرائط ورقية أو رقمية. أما البيانات نفسها فمن الممكن تقسيمها الي مجموعتين: قياسات مباشرة و مرئيات.



شكل (٤-١) مراحل عملية الاستشعار عن بعد

ومن الممكن أيضا تقسيم أجهزة الاستشعار عن بعد - من حيث مصدر الطاقة - الي مجموعتين:

١. مستشعرات سالبة passive sensors تستقبل و تسجل الطاقة الكهرومغناطيسية المنعكسة أو المنبعثة من سطح الأرض حيث تكون الشمس هي مصدر تلك الطاقة،
٢. مستشعرات موجبة أو فاعلة active sensors تقوم بنفسها بتوليد و بإطلاق الطاقة ثم تستقبلها مرة أخري بعد ارتدادها من سطح الأرض (مثل الرادار).



شكل (٤-٢) الاستشعار عن بعد السلبي و الايجابي

أما من حيث عدد نطاقات bands الطاقة الكهرومغناطيسية التي يتم التعامل معها و تسجيلها فأن المستشعرات (أجهزة الاستشعار عن بعد) تنقسم الي عدة مجموعات تشمل:

١. مستشعرات بصرية optical: تتعامل مع الطيف الكهرومغناطيسي في النطاق المرئي والنطاق القريب منه في الفترة من ٠.٣ الي ١٥ مايكرومتر (أجهزة الاستشعار عن بعد السالب)، وبصفة عامة فأنه كلما زاد عدد نطاقات الاستشعار كان ذلك أفضل. وتشمل هذه الفئة:
   - مستشعرات أحادية النطاق panchromatic: تتعامل مع الضوء المرئي كأنه نطاق واحد (أبيض و أسود).
   - مستشعرات متعددة النطاقات multispectral. تتعامل مع من ٢ الي ٩ نطاقات.
   - مستشعرات كثيرة النطاقات super-spectral : تتعامل مع من ١٠ الي ١٦ نطاق.
   - مستشعرات فائقة النطاقات hyper-spectral: تتعامل مع أكثر من ١٦ نطاق.
٢. مستشعرات الرادار radar: وهي الأجهزة التي تقوم بتوليد و إطلاق الطاقة المستخدمة في عملية الاستشعار (أجهزة الاستشعار عن بعد الموجب أو الفاعل) في النطاق من ١ ملليمتر الي ١ متر، وتشمل:
   - مستشعرات أحادية التردد single frequency،
   - مستشعرات متعددة الترددات multi- frequency،

٤-٢ نبذة تاريخية

استمر التصوير الجوي لعدة عقود معتمدا علي وضع آلات التصوير في الطائرات الي أن بدأ عصر الأقمار الصناعية مع بداية النصف الثاني من القرن العشرين الميلادي. في البداية كانت الأقمار الصناعية مخصصة للتطبيقات العسكرية مثل إطلاق الصواريخ والتحكم فيها أثناء سيرها لمسافات طويلة عابرة للقارات، إلا أن فكرة وضع آلة تصوير داخل القمر الصناعي بدأت في الظهور الي أن تم إطلاق أول قمر صناعي مخصص للتصوير الفضائي في عام ١٩٧٢ (١٣٩١ هـ). ومنذ ذلك التاريخ ظهر علم الاستشعار عن بعد وبدأ استخدام مصطلح المرئيات الفضائية للدلالة علي الصور الملتقطة من الأقمار الصناعية.

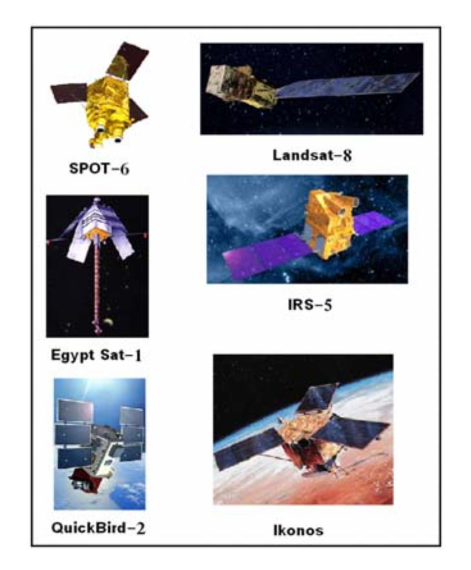
القمر الصناعي هو جهاز أو آلة من صنع البشر يدور في مدار محدد في الفضاء الخارجي حول الأرض. في عام ١٩٥٧ (١٣٧٦ هـ) قام الاتحاد السوفيتي - روسيا الآن - بإطلاق أول قمر صناعي (القمر سبوتنيك-١) الي الفضاء الخارجي لتبدأ البشرية عصرا جديدا من عصور العلم و التقنيات. ومنذ ذلك التاريخ تم إطلاق آلاف من الأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض وتستخدم في العديد من التطبيقات المدنية و العسكرية.

بصفة عامة يمكن تقسيم أنواع الأقمار الصناعية الي ثلاثة مجموعات رئيسية تشمل:

- أقمار صناعية للاتصالات: وهي أقمار تساعد في نقل البيانات (مثل البث الإذاعي و التلفزيوني) وتوزيعها علي أجزاء كبيرة من سطح الأرض لتتغلب علي مشكلة كروية الأرض التي تعيق النقل المباشر الأرضي لهذه البيانات. ومن أمثلة هذه النوعية من الأقمار الصناعية: النيل سات و العرب سات المستخدمين في البث التلفزيوني.
- أقمار صناعية ملاحية: يكون هدفها الأساسي تقديم تقنيات ووسائل دقيقة لعمليات الملاحة بين موقعين (سواء الملاحة الأرضية أو البحرية أو الجوية أو حتى الملاحة الفضائية) ، وتأتي في هذه المجموعة من الأقمار الصناعية نظم أو تقنيات مثل نظام الجي بي أس الأمريكي و نظام جاليليو الأوروبي و نظام جلوناس الروسي.
- أقمار صناعية لدراسة موارد الأرض: ومنها أقمار صناعية خاصة بدراسة البحار و أخري خاصة بدراسة الطقس و ثالثة مخصصة للتصوير الفضائي أو الاستشعار عن بعد.

بدأت الأقمار الصناعية كأقمار مخصصة للأغراض العسكرية في المقام الأول إلا أنها أصبحت تستخدم في العديد من التطبيقات المدنية سواء الهندسية أو البيئية أو الزراعية أو الجيولوجية .... الخ. وطوال ثلاثة عقود كانت معظم الأقمار الصناعية حكومية وكان الحصول علي المرئيات الفضائية يتم من خلال الجهات الحكومية في الدول من خلال اتفاقيات موقعة مع الدولة صاحبة القمر الصناعي. إلا أنه في السنوات الأخيرة ومن انتشار تطبيقات المرئيات الفضائية في عدة مجالات فقد زاد الطلب علي منتجات الأقمار الصناعية مما جعل بعض الشركات الكبرى تدخل هذا المجال المربح اقتصاديا. والآن أصبحت هناك عدة أقمار صناعية تجارية يمكن شراء منتجاتها بسهولة و يسر. الجدول التالي يقدم بعض المعلومات عن بعض الأقمار الصناعية المخصصة للاستشعار عن بعد.

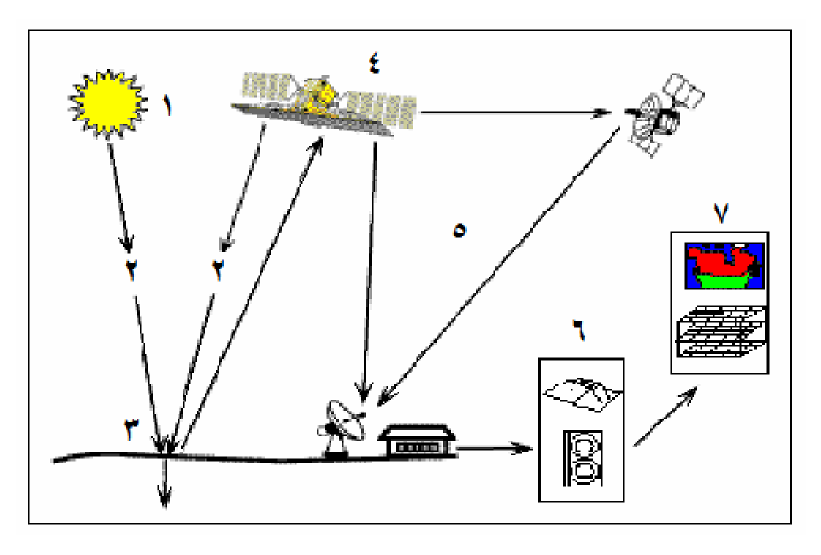
أولا: بعض الأقمار الصناعية الحكومية		
أسم القمر	الدولة	تاريخ الإطلاق
لاندسات ٧	أمريكي	١٥-٤-١٩٩٩م
سبوت ٥	فرنسي	٣-٥-٢٠٠٢م
اي أر أس ٥	هندي	٥-٥-٢٠٠٥م
رادار سات ٢	كندي	١٤-١٢-٢٠٠٧م
ايجيبت سات ١	مصري	١٧-٤-٢٠٠٧م
را سات	تركي	١٧-٨-٢٠١١م
سعودي سات ٢	سعودي	١٧-٤-٢٠٠٧م
ثانيا: بعض الأقمار الصناعية التجارية		
أسم القمر	الشركة	تاريخ الإطلاق
ايكونوس ٢	سباس ايماج	٢٤-٩-١٩٩٩م
كويك بيرد ٢	ديجيتال جلوب	١٨-١٠-٢٠٠١م
جيو أي ١	جيو أي	٦-٩-٢٠٠٨م



شكل (٤-٣) بعض الأقمار الصناعية

٤-٣ مكونات الاستشعار عن بعد

تتكون عملية التحسس أو الاستشعار من عدد من العناصر تشمل مصدر الطاقة و الغلاف الجوي و التعامل مع الأهداف الأرضية و استقبال و تسجيل و تحليل الطاقة الكهرومغناطيسية.



شكل (٤-٤) مكونات عملية الاستشعار عن بعد

١- مصدر الطاقة:

أولي خطوات عملية الاستشعار من بعد تتطلب وجود مصدر للطاقة الكهرومغناطيسية التي ستقع علي الأهداف المكانية علي سطح الأرض.

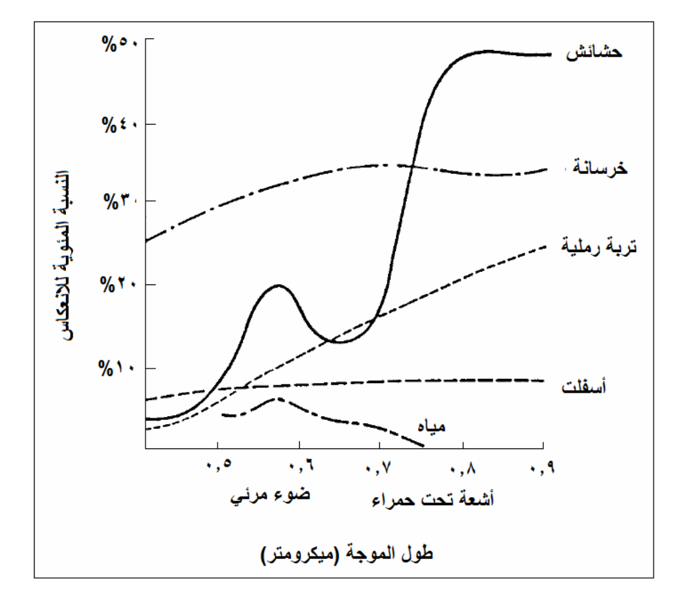
تعد الشمس هي المصدر الرئيسي للطاقة في أغلب تطبيقات الاستشعار عن بعد، وهذا النوع يسمي بالاستشعار عن بعد السلبي حيث أن القمر الصناعي يسجل فقط الطاقة المنعكسة من سطح الأرض. أما الاستشعار عن بعد الفاعل أو الايجابي فهو الذي يقوم فيه القمر الصناعي ذاته بإرسال أشعة كهرومغناطيسية (مثل أشعة الرادار) الي سطح الأرض ثم يسجلها بعد انعكاسها و ارتدادها إليه مرة أخري.

٢- الغلاف الجوي:

تمر الطاقة المنبعثة من المصدر من خلال طبقات الغلاف الجوي للأرض حتى وصولها لسطح الأرض، ثم تمر مرة أخري في هذه الطبقات عند انعكاسها الي الجهاز المستشعر. وتؤثر طبقات الغلاف الجوي علي الأشعة الكهرومغناطيسية بثلاثة صور متعددة تشمل التشتت و الامتصاص و النفاذية، وطبقا لطول الموجة لكل نوع من أنواع الطيف الكهرومغناطيسي فستختلف درجات التعامل مع الغلاف الجوي.

٣- التعامل مع سطح الأرض:

بوصول الطاقة الكهرومغناطيسية الي سطح الأرض فأنها ستتفاعل مع الأهداف المكانية بطرق مختلفة اعتمادا علي طبيعة و خصائص هذه الأهداف. فجزء من هذه الطاقة سيتم امتصاصه بواسطة الأهداف المكانية بينما سينفذ جزء آخر الي باطن الأرض وسيكون هناك جزء آخر من الطاقة سيتم عكسه أو ارتداده مرة أخري وهذا هو الجزء الهام في عملية الاستشعار عن بعد. لكل مادة علي الأرض نمط مميز لكيفية التعامل مع الطاقة الساقطة عليها وهذا ما يطلق عليه اسم البصمة الطيفية، وهذا النمط هو ما يمكننا من تمييز مواد سطح الأرض عن بعضها البعض.



شكل (٤-٥) مثال لتعامل مواد سطح الأرض مع الطاقة

٤- تسجيل الطاقة من خلال المستشعرات:

تنعكس الأشعة من سطح الأرض لتصل الي القمر الصناعي، وهنا لا بد من وجود جهاز لاستقبال و تسجيل هذه الطاقة المنعكسة. قد يكون هذا الجهاز كاميرا تسجل المعلومات فوتوغرافيا أو جهاز رقمي يتحسس الأشعة الكترونيا ويسمي جهاز المستشعر أو المجس. ويقوم جهاز المستشعر بتقوية الأشعة المنعكسة ثم تسجيلها بطريقة تعتمد علي شدة كل شعاع منعكس من الهدف الأرضي. تجدر الإشارة لوجود تقنيات للاستشعار عن بعد بواسطة الطائرات أيضا كمنصة توضع داخلها المستشعرات.

٥- بث و استقبال الطاقة:

يقوم القمر الصناعي في هذه المرحلة ببث الأشعة المسجلة - في صورة رقمية - الي محطات الاستقبال الموجودة علي سطح الأرض حيث يتم تحليلها.

٦- التفسير و التحليل:

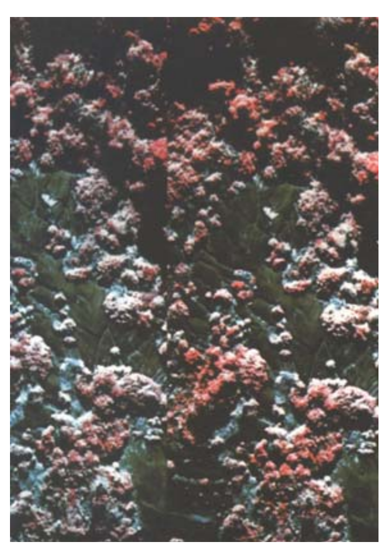
بعد استقبال الأشعة المرسلة من القمر الصناعي تبدأ مرحلة تفسير و تحليل هذه الأشعة (المرئيات الفضائية) لاستنباط المعلومات عن الأهداف المكانية الموجودة علي سطح الأرض.

٧- التطبيقات:

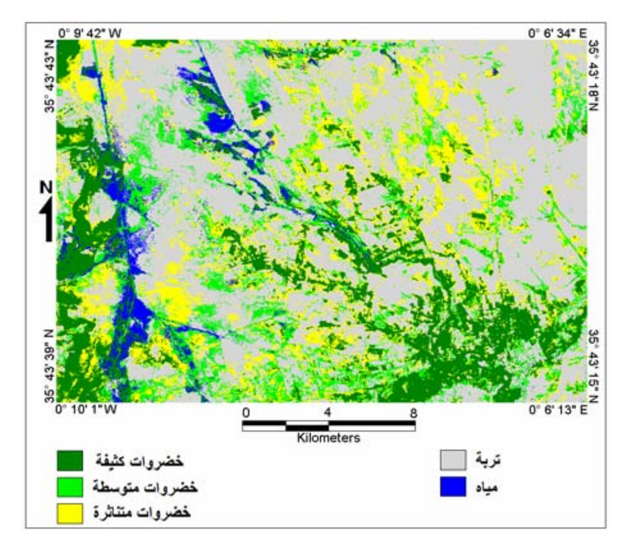
تتكون آخر مراحل عملية الاستشعار عن بعد من تطبيق المعلومات التي تم الحصول عليها واستخدامها في مجالات و مشروعات التنمية. وقد انتشرت تطبيقات الاستشعار عن بعد في الفترة الماضية بدرجة كبيرة جدا لتدخل استخدامات المرئيات الفضائية في عدد كبير من المجالات تشمل:

- الدراسات الحضرية مثل تحديد أنواع استخدامات الأراضي.
- إعداد الخرائط التفصيلية.
- إعداد الخرائط الكنتورية لبيان تضاريس سطح الأرض.
- دراسة النباتات و تحديد أنواع المحاصيل و تحديد المحاصيل المريضة و مراقبة نمو النباتات أثناء مراحل الزراعة.
- إعداد خرائط رطوبة التربة في الحقول الزراعية.
- إعداد خرائط التربة.
- إعداد خرائط المواقع الأثرية.
- تحديد فروع الأنهار و قنوات المياه و المستنقعات و حدود الشواطئ وتحديد أعماق المياه.
- دراسات تخطيط شبكات النقل و المواصلات.

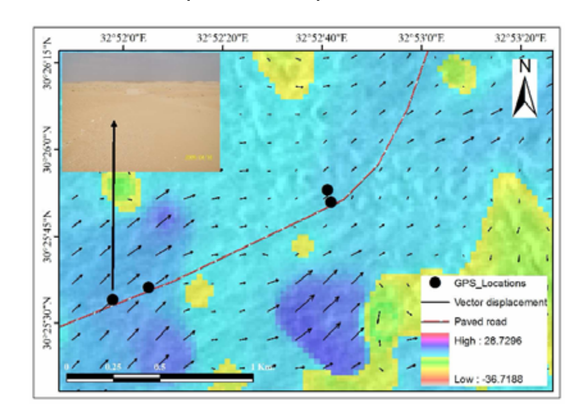
- دراسات توزيع الخدمات العامة.
- مراقبة ومتابعة الفيضانات وتأثيراتها البيئية.
- إعداد الخرائط الجيولوجية.
- متابعة التغيرات الزمنية لنمو و امتداد وحركة الظاهرات الجغرافية مثل حركة الكثبان الرملية و التصحر.
- دراسات تلوث الهواء.
- متابعة ظاهرة ذوبان الجليد في المناطق القطبية.
- متابعة الظاهرات البحرية مثل التيارات البحرية ودرجات حرارة مياه البحار و المحيطات.
- متابعة الظاهرات المناخية مثل حركة و خصائص الرياح والسحب.
- البحث عن الموارد الطبيعية مثل البترول و المعادن.
- البحث عن المياه الجوفية.



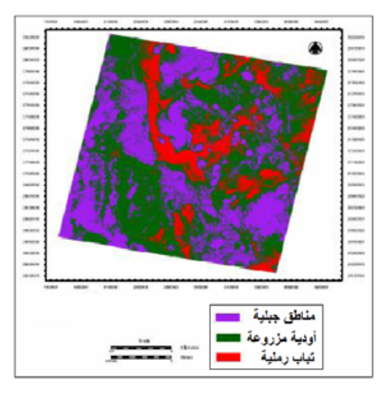
تحديد النبات المريض علي
مرئية تحت حمراء (لونه أزرق)



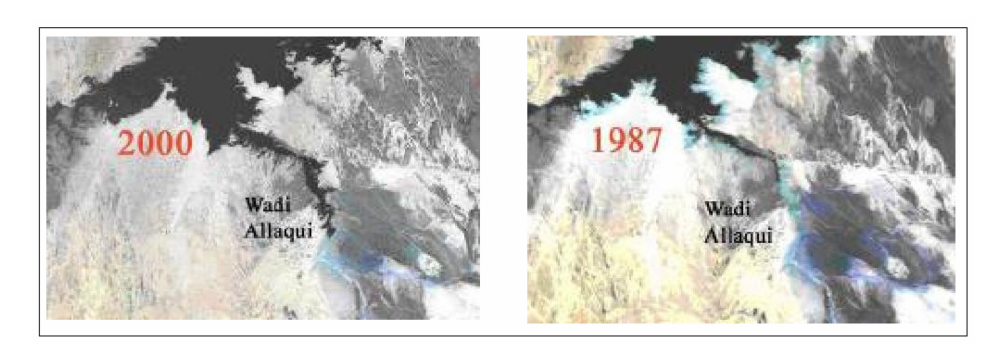
تحديد أنواع و كثافة المزروعات



تحديد حركة الكثبان الرملية



تصنيف استخدامات الأراضي



مراقبة التغير في بحيرة ناصر (مصر) نتيجة البخر

شكل (٤-٦) بعض تطبيقات الاستشعار عن بعد

٤-٤ خصائص المرئيات الفضائية

٤-٤-١ الفروق بين الصور الجوية و المرئيات الفضائية

يعتمد التصوير الجوي بصفة عامة علي التصوير الفوتوغرافي وتسجيل الطاقة علي الأفلام ثم طباعة الصور الجوية، بينما يعتمد الاستشعار عن بعد علي التسجيل الرقمي (الالكتروني) للطاقة حيث يقوم المستشعر بفصل و بتسجيل كل نطاق من نطاقات الطيف الكهرومغناطيسي المطلوب في هيئة رقمية منفصلة، وذلك من خلال المرشحات. أي أن جهاز الاستشعار أو المجس يسجل نطاق الطيف المرئي الأزرق - مثلا - في جزء من الذاكرة الرقمية كما يسجل نطاق الطيف المرئي الأحمر في جزء آخر من الذاكرة ويسجل نطاق طيف الأشعة تحت الحمراء في جزء ثالث من الذاكرة ، ... وهكذا. ومن ثم فيطلق علي المرئية الفضائية أنها متعددة النطاقات، أي أنها تتكون من عدد من النطاقات المختلفة (الناتجة عن المرشحات المختلفة). وهذا الأسلوب يتيح للمستخدم - بعد ذلك - من التعامل مع كل صورة أو كل نطاق من نطاقات الطيف الكهرومغناطيسي بصورة منفصلة أو أن يقوم بعرض مجموعة من النطاقات علي شاشة الحاسب الآلي في نفس الوقت للحصول علي الصور الملونة.

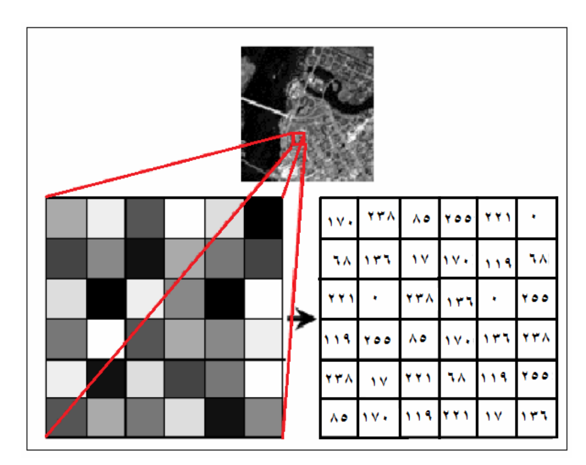


شكل (٤-٧) مفهوم نطاقات المرئيات الفضائية

تختلف المرئيات الفضائية عن الصور الجوية أيضا في أن الصور الملتقطة من الطائرات يتم تصويرها من داخل الغلاف الجوي حيث أن ارتفاع الطيران غالبا يكون في حدود عدة كيلومترات بينما ترتفع الأقمار الصناعية عدة مئات من الكيلومترات فوق سطح الأرض. كما أن تكلفة شراء المرئيات الفضائية الآن (من شركات الأقمار الصناعية التجارية) أصبحت أرخص اقتصاديا من عملية التصوير الجوي.

٤-٤-٢ مواصفات المرئيات الفضائية

تتكون المرئية الفضائية من شبكة من الأعمدة و الصفوف والتي تكون مساحات مربعة صغيرة يطلق عليها اسم الخلية أو البكسل. لكل خلية رقم يمثل كم الإشعاع المنعكس من مساحة سطح الأرض التي تمثلها هذه الخلية، ومن هذا الرقم يمكن لبرنامج الحاسب الآلي تحديد مادة سطح الأرض التي تمثل هذه الخلية. وهناك العديد من الخصائص التي تميز مرئية فضائية عن أخري.



شكل (٤-٨) مفهوم الخلية في الاستشعار عن بعد

<u>الدقة التمييزية المكانية spatial resolution:</u>

تعرف الدقة التمييزية المكانية (أو درجة الوضوح لمكاني أو الدقة المساحية أو حجم الخلية) بأنها أصغر مساحة من الأرض يمكن للمستشعر أن يميزها عما حولها. فعلي سبيل المثال عندما نقول أن الدقة التمييزية المكانية لمرئية من قمر صناعي معين تبلغ ١×١ متر فهذا يدل علي أن هذا القمر الصناعي يستطيع أن يميز مساحة علي سطح الأرض تبلغ ١×١ متر ويحدد مادة هذه المساحة أو الخلية ليميزها عن المواد الموجودة حولها علي الأرض. أما ما بداخل هذه المساحة أو الخلية فلا يمكن لهذا القمر الصناعي أن يحدد تفاصيلها أو يميز محتواها. ومن هنا فتختلف قيمة الدقة التمييزية المكانية أو حجم الخلية من مرئية فضائية الي أخري، فتوجد:

- مرئيات فضائية ذات حجم خلية منخفض (أكبر من ١٠٠×١٠٠ متر)، وهي تستخدم في تطبيقات التخطيط الإقليمي والخرائط ذات مقاييس الرسم الصغيرة.
- مرئيات فضائية ذات حجم خلية متوسط (تتراوح بين ٥×٥ متر و ١٠٠×١٠٠ متر).
- مرئيات فضائية ذات حجم خلية عالية (أقل من ٥×٥ متر) وهي تستخدم في التخطيط الحضري و الخرائط ذات مقاييس الرسم الكبيرة.

وكلما زادت القدرة التمييزية المكانية لمرئية كلما زادت درجة وضوحها المكاني وكلما أمكن التمييز بين معالم سطح الأرض بقدرة كبيرة.





شكل (٤-٩) مفهوم حجم الخلية أو الدقة التمييزية المكانية

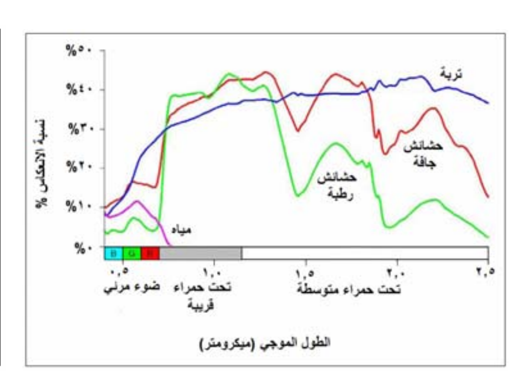
الدقة التمييزية الطيفية spectral resolution:

يقصد بالدقة التمييزية الطيفية للمرئية الفضائية مدي المنطقة من الطيف الكهرومغناطيسي التي يستطيع جهاز المستشعر أن يعامل معها وتقسيمها الي نطاقات. فعلي سبيل المثال فالدقة التمييزية الطيفية للمرئيات الفضائية البانكروماتية (غير الملونة) تقع في المدى من ٠.٤ الي ٠.٧ مايكرومتر حيث يقوم المستشعر بتسجيل الضوء المنعكس من الأرض في هذا المدى و يسجله في نطاق واحد. ومن هنا فأن المجسات أو المستشعرات الموجودة داخل الأقمار الصناعية يمكن تقسيمها من حيث دقتها التمييزية الطيفية الي:

- مستشعرات أحادية النطاق: تستشعر و تسجل الطاقة المنعكسة في نطاق واحد (المرئيات غير الملونة).
- مستشعرات متعددة النطاقات: تستشعر الطاقة المنعكسة وتقوم بتسجيلها في نطاقات متعددة (أقل من ١٠ نطاقات)مثل النطاق الأزرق و الأحمر و الأخضر و تحت الحمراء .... الخ، ومن أمثلتها المستشعرات الموجودة في أقمار سبوت ٥ و لاندسات ٧.
- مستشعرات عديدة النطاقات: تستشعر الطاقة المنعكسة وتقوم بتسجيلها في عدد كبير من النطاقات (عشرات أو مئات)، ومن أمثلتها مستشعرات القمر الصناعي "اي أو أس موديز" والتي يصل عدد نطاقاتها الي ٣٦ نطاقا.

كلما زاد عدد النطاقات أو الدقة التمييزية الطيفية لمرئية فضائية كلما كانت البصمة الطيفية لمواد سطح الأرض أكثر سهولة في التمييز و التفريق بينها في تطبيقات تفسير و تحليل المرئيات الفضائية. أما المرئيات ذات النطاق الطيفي الواحد (المرئيات غير الملونة) فستستخدم أساسا في إنتاج الخرائط.

المعدن	الانعكاس (%) في الاطوال الموجية المختلفة			
	الأزرق	الأخضر	الأحمر	المرئي
الكوارتز	٩٢,٩	٩٣,٠	٩٣,٥	٩٣,١
البيوتيت	٧,٤	٧,٤	٧,٤	٧,٤
المسكوفيت	٥٩,٣	٦٠,٣	٦٠,٢	٦٠,٠
الميكروكلين	٦١,٤	٧١,٧	٨٠,٧	٧١,٣
الجارنت	١١,٠	١٨,٣	٣٠,٣	١٩,٧
الابيدوت	١٨,٦	٣٤,٧	٣٦,٥	٣٠,٣

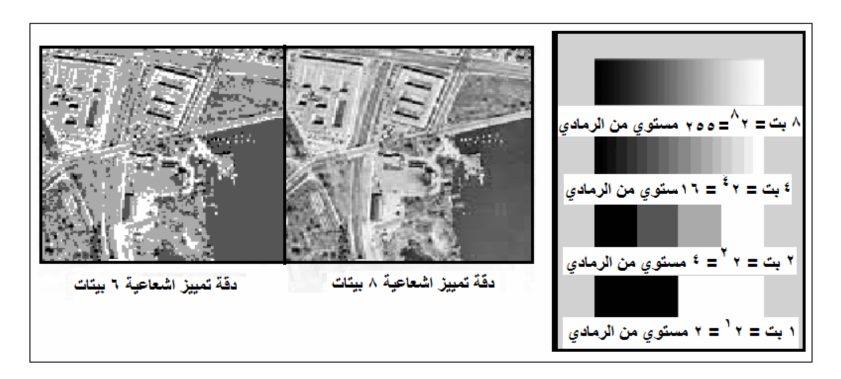




شكل (٤-١٠) مفهوم الدقة التمييزية الطيفية للمرئيات الفضائية

الدقة التمييزية الإشعاعية radiometric resolution:

تعد الدقة التمييزية الإشعاعية (أو الدقة الراديومترية) مقياسا لحساسية المستشعر لكشف الاختلافات التي تحدث في قوة الإشارة الكهرومغناطيسية أثناء تسجيلها للأشعة المنعكسة من سطح الأرض. ويعبر عن الدقة التمييزية الإشعاعية بعدد البيتات المستخدمة لتسجيل بيانات كل خليه، و البت هو وحدة قياس البيانات الرقمية وهو الأس للرقم ٢. فعلي سبيل المثال فعندما نقول أن الدقة التمييزية الإشعاعية لقمر صناعي معين تبلغ ١ بيت فهذا يدل علي أن القمر يسجل البيانات في $٢^{١}$ أي ٢ قيم عددية مختلفة لبيانات الخلية، أو بمعني آخر يقسم الخلية الي ٢ أقسام مختلفة أو ٢ تدريج من تدريجات اللون الرمادي، و عندما نقول أن الدقة التمييزية الإشعاعية لقمر صناعي معين تبلغ ٢ بيت فهذا يدل علي أن القمر يسجل البيانات في $٢^{٢}$ أي ٤ قيم عددية مختلفة لبيانات الخلية، أو بمعني آخر يقسم الخلية الي ٤ تدريجات من تدريجات اللون الرمادي، و عندما نقول أن الدقة التمييزية الإشعاعية لقمر صناعي معين تبلغ ٨ بيت فهذا يدل علي أن القمر يسجل البيانات في $٢^{٨}$ أي ٢٥٥ قيم عددية مختلفة لبيانات الخلية، أو بمعني آخر يقسم الخلية الي ٢٥٥ تدريجات من تدريجات اللون الرمادي. ومن ثم فأنه كلما زادت الدقة التمييزية الإشعاعية لمرئية فضائية كلما كانت المرئية أوضح و أسهل في التفسير و التحليل. وعلي سبيل المثال فتبلغ الدقة التمييزية الإشعاعية لأقمار "سبوت ٥" و "لاندسات ٧" قيمة ٨ بيت، بينما تبلغ ١٠ بيت للقمر "نوAA" وتبلغ ١٢ بيت للقمر "اي أو أس موديز".



شكل (٤-١١) مفهوم الدقة التمييزية الإشعاعية للمرئيات الفضائية

الدقة التمييزية الزمنية temporal resolution:

الدقة التمييزية الزمنية لقمر صناعي معين هي الوقت أو الزمن الدوري اللازم للقمر الصناعي لزيارة نفس المنطقة الجغرافية علي سطح الأرض مرتين متتاليتين. أي أنها الوقت المستغرق بين تصوير نفس المنطقة الجغرافية مرتين متتاليتين. وتختلف الدقة التمييزية الوقتية

للأقمار الصناعية باختلاف ارتفاع القمر الصناعي عن سطح الأرض و سرعة دورانه، وغالبا تتراوح هذه الفترة الزمنية بين عدة أيام الي ما هو أقل من الشهر.

التغطية المكانية spatial coverage:

التغطية المكانية لقمر صناعي هي مساحة المنطقة الأرضية التي يعطيها المنظر الواحد أو المرئية الفضائية الواحدة. وبالطبع فأنه كلما زادت التغطية المكانية لقمر صناعي كلما انخفضت الدقة التمييزية المكانية له، أي أنه كلما كبرت مساحة سطح الأرض الظاهرة علي مرئية محددة كلما انخفض كم تفاصيل هذه المرئية، والعكس صحيح. فالمرئيات الفضائية ذات التغطية المكانية الكبيرة تستخدم في التطبيقات التي لا تعتمد علي إظهار كم تفاصيل كبير مثل تطبيقات التخطيط الإقليمي، بينما تتطلب تطبيقات تخطيط المدن و إنتاج الخرائط التفصيلية قدرة تمييز مكاني كبيرة ومن ثم الاعتماد علي المرئيات الفضائية ذات التغطية المكانية الصغيرة. ويقدم الجدول التالي مقارنة سريعة بين خصائص المرئيات الفضائية لبعض الأقمار الصناعية المستخدمة في تطبيقات الاستشعار عن بعض في الوقت الراهن.

القمر الصناعي	**لاندسات ٧**	**سبوت ٥**	**أي أر أس ٢**	**كويك بيرد**	**ايكونوس**
النطاق	**حجم الخلية (الدقة التمييزية المكانية) بالمتر**				
الأزرق	٣٠			٢.٤	٤
الأخضر	٣٠	٢.٥ أو ٥	٢٣	٢.٤	٤
الأحمر	٣٠	٢.٥ أو ٥	٢٣	٢.٤	٤
تحت الحمراء القريبة	٣٠	٥ أو ١٠	٢٣	٢.٤	٤
تحت الحمراء المتوسطة	٣٠	١٠ أو٢٠	٧٠		
تحت الحمراء الحرارية	٦٠				
أبيض و أسود	١٥	٢.٥ أو ٥	٥.٨	٠.٦١	٠.٨٢
التغطية المكانية أو أبعاد الصورة (كيلومتر)	١٨٥	٦٠	١٤٢	١٦.٥	١١
الدقة التمييزية الزمنية أو دورية التصوير (يوم)	١٦	٢٦	٢٤	٣.٥	٣

٤-٥ معالجة المرئيات الفضائية

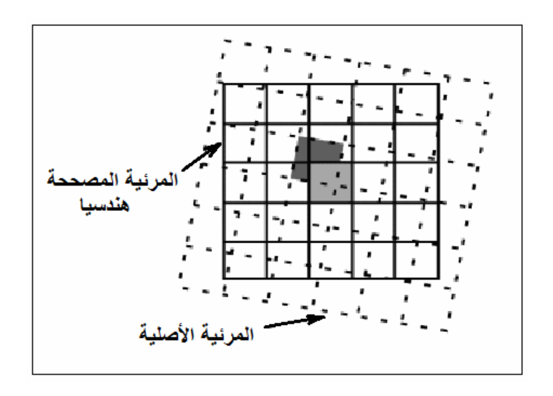
تهدف عمليات معالجة المرئيات الفضائية الي إعداد المرئيات في أفضل و أدق صورها قبل تفسيرها و استنباط المعلومات منها. فالمرئيات الفضائية الخام أو الأولية كما تأتي من الأقمار الصناعية تكون بها بعض العيوب الواجب تصحيحها أولا قبل إتمام عملية تصنيف المعالم والظاهرات الجغرافية الظاهرة علي المرئية. وتتضمن عمليات معالجة المرئيات خطوات أولية و خطوات تفصيلية تشمل تحسين و دمج و تصنيف المرئيات و الإعداد النهائي للمعلومات المكانية والخرائط المستنبطة من المرئيات الفضائية.

٤-٥-١ المعالجة الأولية للمرئيات الفضائية

تتكون المعالجة الأولية للمرئيات من عدد من الخطوات تهدف لتصحيح أية تشوهات أو عيوب بالمرئية، وتشمل:

التصحيح الهندسي geometric correction:

تؤثر سرعة القمر و الصناعي وانكسار الأشعة في طبقات الغلاف الجوي و الإزاحة الناتجة عن التضاريس وعوامل أخري علي المرئية الخام بحيث يكون بها بعض التشوهات الهندسية تمنع من استخدامها مباشرة في إنتاج الخرائط و القياسات الدقيقة. وفي أولي خطوات المعالجة الأولية يتم التصحيح الهندسي للتغلب علي تشوهات المرئية، وهو يتكون من خطوتين: تصحيح التشوهات المنتظمة من خلال تطبيق معادلات رياضية تعتمد علي بيانات و خصائص القمر الصناعي ذاته، وتصحيح التشوهات غير المنتظمة عن طريق ربط المرئية بنقاط تحكم أرضية معلومة الإحداثيات (مثلا برصدها بتقنية الجي بي أس) و موزعة توزيعا منتظما جيدا علي أركان المرئية الفضائية أو بمقارنة المرئية الجديدة بمرئية أو خريطة سابقة مصححة هندسيا.



شكل (٤-١٢) التصحيح الهندسي للمرئيات الفضائية

التصحيح الراديومتري radiometric correction:

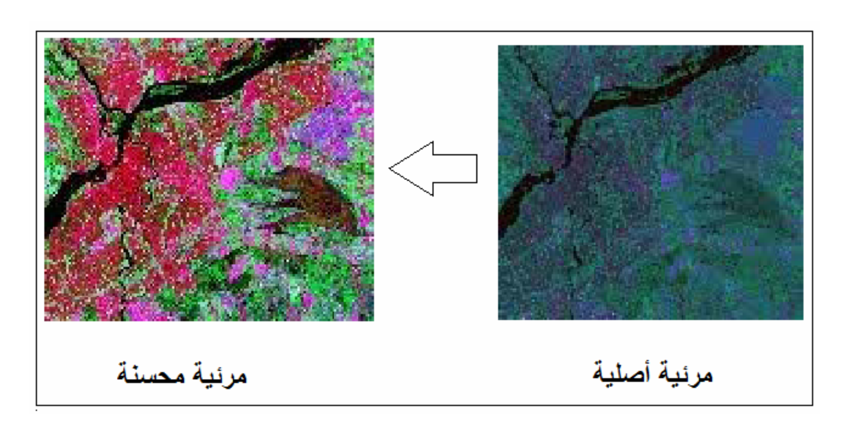
تتأثر المرئيات الفضائية ببعض المصادر التي تسبب وجود تشوهات إشعاعية بها مثل أخطاء بأحد المستشعرات أو تأثير طبقات الغلاف الجوي. ويتعامل التصحيح الراديومتري مع مصادر هذه الأخطاء للتغلب علي أية تشوهات إشعاعية قد تتواجد علي المرئيات الفضائية.

إزالة الضجيج noise removal:

في هذه الخطوة من خطوات المعالجة الأولية يقوم برنامج الحاسب الآلي بتطبيق معادلات رياضية لإزالة أية ضجيج أو تشوهات أخري قد تكون حدثت أثناء عملية الاستشعار ذاتها.

٤-٥-٢ تحليل المرئيات الفضائية

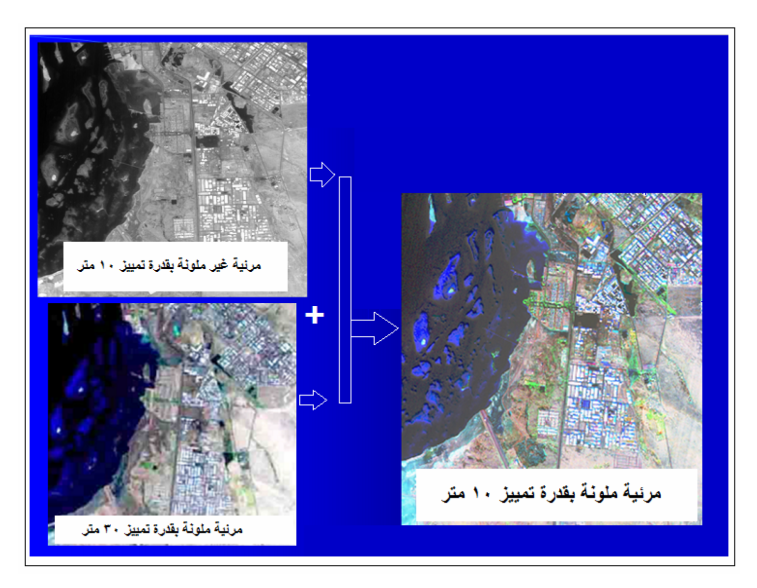
تبدأ خطوات تحليل المرئيات الفضائية image interpretation بخطوة تحسين المرئية image enhancement وهي خطوة تتم بواسطة برامج الحاسب الآلي و تهدف الي تحسين قابلية التفسير البصري للمرئية عن طريق تحسين تباين المرئية لزيادة قدرة التمييز البصري بين الاختلافات الضئيلة بين المعالم في التدرجات اللونية المختلفة (أو تدرجات الرمادي للمرئيات غير الملونة). ثم تأتي أيضا خطوة تحسين حواف المرئية edge enhancement بهدف زيادة وضوح الأهداف علي جوانبها واستخلاص معلومات دقيقة من الأطراف.



شكل (٤-١٣) تحسين المرئيات الفضائية

تعد خطوة دمج المرئيات mosaic من أهم خطوات الاستفادة القصوى من المرئيات الفضائية بصفة عامة، فدمج عدة مرئيات فضائية في مرئية واحدة كبيرة (موزايك) يسمح

للمستخدم بدراسة الظاهرات المكانية في منطقة مكانية كبيرة من سطح الأرض. أيضا يستخدم دمج المرئيات في دمج عدة مرئيات مختلفة الخصائص بهدف الحصول علي معلومات أكثر، فمثلا يمكن دمج مرئية غير ملونة (بانكروماتية أو أحادية النطاق) لها قدرة تمييز مكاني كبيرة مع مرئية من نوع آخر متعدد الأطياف لها قدرة تمييز مكانية قليلة، ومن ثم نحصل علي مرئية جديدة لها قدرة تمييز مكانية كبيرة ولها عدة نطاقات طيفية أيضا.

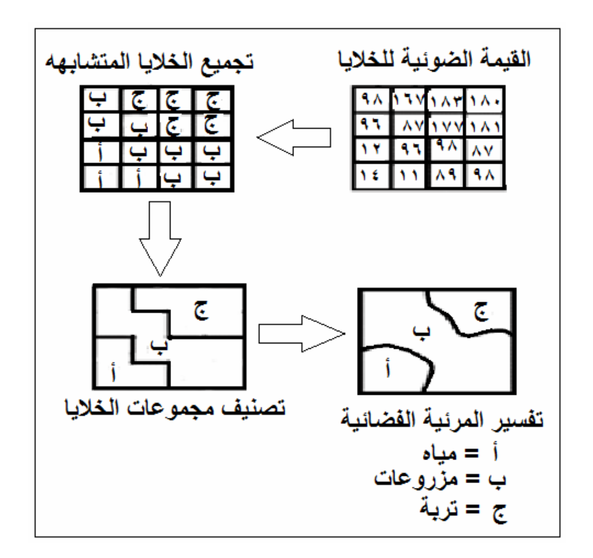


شكل (٤-١٤) دمج المرئيات الفضائية

٤-٥-٣ تصنيف المرئيات الفضائية

يتم تحليل الصور الجوية بصورة بشرية تعتمد علي الخبرة العالية و التدريب المكثف وتتطلب وقتا طويلا كما سبق الإشارة إليه في الفصل السابق، إلا أن تحليل و تفسير المرئيات الفضائية غالبا يتم بصورة حاسوبية تعتمد علي استخدام برامج متخصصة. عملية التصنيف هي عملية الغرض منها تقسيم المرئية الفضائية الي عدد من الفئات أو المجموعات بحيث تمثل كل فئة منها ظاهرة جغرافية محددة علي سطح الأرض. وتعتمد عملية التصنيف علي طبيعة المنطقة (حضرية أو صحراوية أو جبلية أو زراعية ...الخ) و الدقة المساحية و الدقة الطيفية و الدقة الراديومترية للمرئية الفضائية المستخدمة.

هناك أسلوبين لإتمام عملية تصنيف أو تفسير معالم المرئية الفضائية: (١) التصنيف أو التفسير غير المراقب unsupervised أو التصنيف الآلي، (٢) التصنيف أو التفسير المراقب supervised أو التصنيف الأكثر دقة.



شكل (٤-١٥) مفهوم تصنيف المرئيات الفضائية

التصنيف غير المراقب:

التصنيف غير المراقب أو التصنيف غير الموجه أو التصنيف الآلي هو عملية تفسير المرئية الفضائية اعتمادا علي برنامج متخصص دون تدخل من المستخدم. فكما سبق الذكر أن لكل خلية من خلايا المرئية الفضائية عدد رقمي يمثل القيمة الضوئية أو كم الإشعاع المنعكس من مساحة سطح الأرض التي تمثلها هذه الخلية، ومن ثم يقوم البرنامج بتحديد الخلايا التي لها نفس العدد الرقمي أو التي تقع في فئة أو فترة محددة (مثلا العدد الرقمي يتراوح بين ٥٥ و ٩٠) ويضم هذه الخلايا في مجموعة واحدة. توجد بعض الأنظمة القياسية العالمية الموحدة لتصنيف الفئات (مثل نظام تقسيم استعمالات الأراضي من هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية) وهي نظم تحدد نوع الظاهرة الجغرافية بناءا علي فئات الأعداد الرقمية أو القيم الضوئية للخلايا. أيضا توجد بعض نظم التصنيف الوطنية أو المحلية ومنها علي سبيل المثال النظام المصري لتصنيف الأراضي الساحلية للمناطق الجافة و شبه الجافة. ومن ثم يمكن للبرنامج أن يحدد فئات تصنيف ظاهرات المرئية الفضائية اعتمادا علي أحد هذه النظم القياسية للتصنيف.

التصنيف المراقب:

في هذا الأسلوب يقوم المستخدم بمراقبة أو توجيه عملية التصنيف الآلي التي يقوم بها البرنامج عن طريق التدخل في تحديد دليل تصنيف عددي يمثل الخصائص الطيفية لكل نمط من أنماط المعالم والظاهرات الجغرافية. ويتم هذا التدخل البشري من خلال معلومات محددة لدي المستخدم من خلال دراسته للمنطقة الجغرافية و معرفة معلومات موثوقا بها عن طبيعتها

وجغرافيتها و مظاهرها وذلك من خلال خرائط أو مرئيات فضائية قديمة مصنفة فعلا. وتتم عملية التدخل البشري هذه (وتسمي مرحلة التدريب) في أجزاء من المرئية حيث يمتلك المستخدم معلومات حقيقية عن طبيعة ظاهرات أو معالم هذه الأجزاء ومن ثم يقوم بعملية تصنيف بشري لتحديد مجموعات وخصائص الظاهرات في مناطق التدريب تلك. ثم تأتي بعد ذلك مرحلة التصنيف لكامل المرئية الفضائية حيث تتم مقارنة القيمة الضوئية لكل خلية مع فئات تصنيف مرحلة التدريب، وفي المرحلة الأخيرة من مراحل التصنيف المراقب أو التصنيف الموجه يتم استخراج المنتج النهائي لعملية التصنيف مع إعداد دليل التصنيف (يشبه مفتاح الخريطة) لتحديد طبيعة الظاهرات الجغرافية الممثلة علي المرئية الفضائية مع إعداد الجداول الإحصائية لكل ظاهرة من هذه الظاهرات (مثل المساحة والعدد و النسب المئوية ...الخ).

٤-٦ تفسير المرئيات الفضائية

تفسير المرئيات (وأيضا الصور الجوية) هو علم و فن استنباط معلومات من المرئيات عن الخصائص النوعية للمعالم الجغرافية علي سطح الأرض. فهو علما مبنيا علي أسس علمية كما أنه فن يعتمد علي خبرة المستخدم و قدرته علي التعرف علي الظواهر المكانية. ومع أن تفسير المرئيات الفضائية أصبح يتم الآن من خلال برامج حاسوبية متخصصة إلا أن دور المستخدم و قدرته علي التفسير البصري لمعالم الصور مازال مؤثرا و حيويا.

٤-٦-١ أهمية تفسير المرئيات

علم تفسير المرئيات ذا أهمية كبيرة في عدة تطبيقات تنموية و بيئية لما تتميز به المرئيات ذاتها من خصائص تشمل:

- تحتوي المرئية علي كم هائل من المعلومات التي يمكن استنباطها للتعرف علي خصائص معالم سطح الأرض.
- تمثل المرئية الواقع الحقيقي لجميع المعالم المكانية في لحظة التصوير.
- تغطي المرئية مساحات كبيرة من سطح الأرض مما يسمح بالتعرف علي عدد كبير من المعالم و خصائصها.
- التصوير المتكرر علي فترات زمنية لنفس المنطقة الجغرافية يسمح باكتشاف و متابعة توزيع الظاهرات الجغرافية.
- توضح المرئيات تفاصيل المناطق التي يصعب الوصول إليها.

- المرئيات لا تعترف بالحدود الإدارية و السياسية بين المناطق مما يسمح بمتابعة ظاهرة ممتدة بين عدة مناطق أو حتى عدة دول.

<u>٤-٦-٢ خطوات تفسير المرئيات</u>

للبدء في تفسير مرئية فضائية (أو صورة جوية) يتم التركيز علي أربعة خطوات أو أربعة وظائف يقوم بها مفسر المرئية:

<u>التصنيف:</u>

تصنيف المعالم علي المرئية الي مجموعات مثل مجموعة المعالم السكنية و مجموعة المعالم الصناعية و مجموعة المعالم الزراعية و مجموعة الطرق .... الخ. وتساعد هذه الخطوة المفسر فيما بعد الي التركيز علي تفسير كل مجموعة من هذه المجموعات علي حدي لما تتمتع به عناصر كل مجموعة من خصائص متشابهة.

<u>التحديد:</u>

يقوم مفسر المرئية بوضع حدود علي الصورة لكل مجموعة من مجموعات التصنيف السابق.

<u>الترقيم:</u>

للمعالم المتجانسة يبدأ المفسر في عد أو ترقيم هذه المعالم، فمثلا يحصي عدد المنازل في الصورة أو عدد المصانع في المرئية.

<u>القياس:</u>

يقوم المفسر أيضا بإجراء بعض القياسات العامة مثل المسافات بين المعالم المكانية و مساحة امتداد كل ظاهرة محددة. وهذه القياسات تكون مفيدة في التعرف علي الخصائص النوعية و الانتشار المكاني لكل ظاهرة جغرافية.

يجب توافر بعض الشروط في مفسر الصور الجوية حتى يمكنه إتمام عملية التفسير البصري للمرئية بكفاءة و إتقان، ومنها علي سبيل المثال:

- أن يكون لديه خلفية علمية جيدة عن تقنيات الاستشعار عن بعد و التصوير الجوي، فعلي سبيل المثال وكما سبق الذكر أن ألوان المرئيات أو الصور الجوية بالأشعة تحت الحمراء تختلف كلية عن ألوان الصور الجوية العادية.
- أن يكون لديه خلفية علمية والماما جيدا بأسس علوم الأرض، مثل الزراعة (أنواع المحاصيل) و التربة (أنواع التربة) و الجيولوجيا (أنواع الصخور).

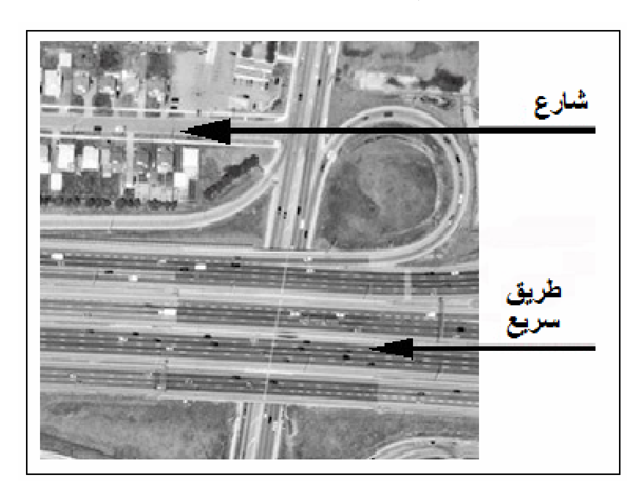
- أن يكون لديه تدريبا جيدا علي استخدام الأجهزة المناسبة مثل الاستريسكوب والتي تساعده في عملية تفسير الصور.
- أن يتوافر لديه معلومات جيدة عن المنطقة المصورة وذلك من خلال الخرائط الطبوغرافية و الجيولوجية لهذه المنطقة.

٤-٦-٣ عناصر تفسير المرئيات

لتحديد خصائص و أنواع المعالم الجغرافية علي المرئية يتم فحص عدد من العناصر الهامة التي من خلالها يمكن التعرف علي طبيعة المعالم و أنواعها، ومنها: الحجم و الشكل و درجة اللون و الظل و النمط و المظهر و الموقع.

الحجم:

حجم الهدف علي المرئية من أهم خصائصه، فبقياس طول و عرض أي معلم مكاني علي الصورة ومعرفة مقياس رسم المرئية ذاتها يمكن تقدير مساحة المعالم المكانية علي الأرض ومن ثم التفرقة بين المعالم حتى و إن كانت متشابهة في الشكل. فعلي سبيل المثال فأن شكل منزل عادي أو قصر أو برج سكني ربما يكونوا متشابهين في المرئية، إلا أن المساحات ستختلف مما يمكن المفسر من تحديد أنواع هذه المنشئات السكنية. كما أن تمييز المجمعات التجارية الكبيرة داخل المناطق السكنية قد يكون سهلا من التعرف علي حجمها و مساحاتها الكبيرة نسبيا مقارنة بما حولها من معالم.



شكل (٤-١٦) حجم المعالم الجغرافية عند تفسير الصور الجوية

الشكل:

توجد عدة أنواع من المعالم المكانية ذات شكل محدد متعارف عليه من حيث التكوين والتركيب العام لها وبالتالي يمكن تمييزها بسهولة علي المرئيات أو الصور الجوية من شكلها. فمثلا يمكن التمييز بين الطرق والتي غالبا تكون في خطوط مستقيمة و بين الترع و المجاري المائية التي قد تأخذ خطوطا متعرجة. كما أن أشكال بعض المعالم المكانية - مثل ملاعب كرة القدم و المطارات - تكون شبه ثابتة ولها خصائص محددة تجعل تمييزها علي الصور الجوية سريعا.



شكل (٤-١٧) شكل المعالم الجغرافية عند تفسير الصور الجوية

الظلال:

تلعب ظلال المعالم المكانية دورا هاما في التمييز بين أنواع الظاهرات، فمثلا من خلال الظل يمكن التفرقة بين الأشجار و أعمدة الإنارة و الكهرباء (قد يكون الشكل متقارب بينهم) وبين الطرق و الكباري. كما أن قياس الظل و معرفة وقت و تاريخ المرئية أو الصورة الجوية يساعد المفسر في حساب ارتفاعات المعالم المكانية مثل الأبراج و الخزانات.



شكل (٤-١٨) ظلال المعالم الجغرافية عند تفسير الصور الجوية

درجة اللون/ التدرج اللوني:

في المرئيات و الصور الجوية غير الملونة (أبيض و أسود) يمكن الاستدلال علي معلومات هامة للمعالم المكانية علي الصورة من خلال ملاحظة درجة لونها أو مدي إضاءتها وسطوعها النسبي علي الصورة. فلكل ظاهرة مكانية قدرة محددة علي عكس جزء من الطاقة الكهرومغناطيسية الواقعة عليها، مما يجعل كل ظاهرة تظهر علي المرئية بدرجة من درجات اللون الرمادي تختلف عن درجة الظاهرات الأخرى. فالظاهرات الملساء أو الناعمة تظهر بلون رمادي فاتح بينما الظاهرات ذات الأسطح الخشنة ستظهر بلون داكن. وكمثال فأن التربة الجافة ستظهر علي المرئية بلون فاتح بينما التربة الرطبة ستظهر بلون داكن. أما في المرئيات و الصور الجوية الملونة فأن التدرج اللوني يكون ذو دلالة هامة في تفسير الصور و التمييز بين الظاهرات الجغرافية ذات اللون الواحد. فالتربة الجافة مثلا ستظهر بلون بني فاتح بينما التربة الرطبة ستظهر بلون بني داكن، وفي السواحل ستكون المياه غير العميقة زرقاء فاتحة بينما ستظهر المناطق العميقة من البحار بلون أزرق داكن.



شكل (٤-١٩) التدرج اللوني للمعالم الجغرافية عند تفسير الصور الجوية

النموذج:

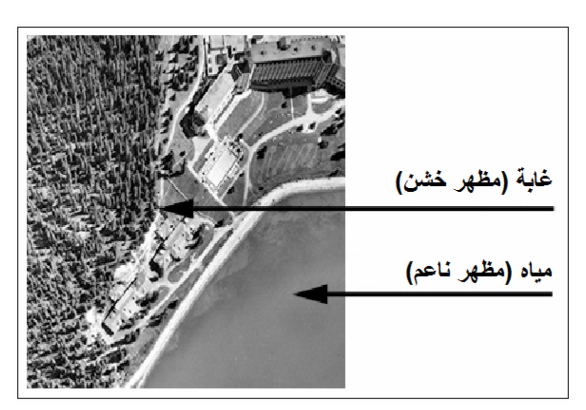
بعض الظاهرات المكانية يكون لها نموذجا أو نمطا معينا في انتشارها المكاني مما يساعد مفسر المرئيات و الصور الجوية علي تمييزها و التفرقة بينها و بين المعالم الأخرى. فعلي سبيل المثال فأن نمط انتشار البساتين يكون منتظما من حيث المسافات التي تفصل بين الأشجار التي تكون بحجم كبير نسبيا، بينما يكون نمط أو نموذج حقول الحبوب في خطوط طويلة منتظمة وذات حجم أقل. وفي داخل المدن يمكن التمييز بين النمط المنتظم للأحياء المخططة من حيث انتظام الشوارع والمباني و النمط العشوائي للمناطق العشوائية غير المخططة عمرانيا من حيث الشوارع الضيقة غير منتظمة الشكل.



شكل (٤-٢٠) نموذج المعالم الجغرافية عند تفسير الصور الجوية

<u>المظهر أو النسيج:</u>

المظهر أو النسيج هو مدي نعومة أو خشونة شكل الظاهرة الجغرافية علي المرئية أو الصورة الجوية، وهو خاصية مفيدة للتمييز بين أنواع المعالم المكانية وان كان لها نفس درجة اللون. فمثلا السطح المعدني يكون لونه ناعم علي الصورة بينما يظهر السطح الصخري بلون خشن، وأيضا تظهر الحشائش ناعمة علي الصور الجوية بينما تكون الأشجار خشنة المظهر.



شكل (٤-٢١) مظهر المعالم الجغرافية عند تفسير الصور الجوية

<u>الوقت:</u>

يلعب تاريخ و وقت التصوير دورا هاما في تفسير المعالم المكانية علي الصور الجوية، فمثلا سيختلف شكل المحاصيل الزراعية في بداية مرحلة زراعتها عن شكلها أثناء فترة نموها و شكلها قبل الحصاد. ومن ثم فأن معرفة تاريخ التصوير الفضائية أو التصوير الجوي يساعد

المفسر في تحديد أنواع المحاصيل الزراعية. كما أن الحصول علي عدد من الصور الجوية مختلفة التاريخ يساعد في دراسة التغير الزمني و النمو العمراني الحادث في منطقة جغرافية معينة.



شكل (٤-٢٢) تاريخ المعالم الجغرافية عند تفسير الصور الجوية

الموقع:

يفيد موقع المعلم المكاني علي المرئيات و الصور الجوية في استنباط معلومات أحري مفيدة، فمثلا وجود مجري مائي يدل علي منطقة منخفضة التضاريس، ووجود حشائش أو مراعي يدل علي أن التربة و المناخ في هذه المنطقة ملائمين لبعض أنواع الزراعات.

الاستعمالات الأرضية:

يعطي وجود ظاهرة جغرافية معينة علي المرئية أو الصورة الجوية معلومات إضافية عن استعمالات الأراضي في هذه المنطقة. فمثلا وجود آبار يدل علي توافر مخزون مائي جوفي، ووجود مزرعة يدل علي تربة مناسبة للزراعة ووجود محجر يدل علي بعض أنواع الصخور وهكذا.

٤-٦-٤ المعالم الجغرافية على المرئيات

قد تختلف شكل الظاهرات الجغرافية في الحقيقة عن شكلها الظاهر في المرئيات أو الصور الجوية خاصة في الصور ذات مقاييس الرسم الصغيرة، إلا أن مفسر المرئية وبعد التدريب الجيد واكتساب الخبرة اللازمة يستطيع التمييز بسرعة بين المعالم الجغرافية خاصة مع استخدام أجهزة الاستريسكوب (في حالة وجود تداخل) أو أجهزة تكبير و تجسيم الصور.

تعد تضاريس سطح الأرض من الظاهرات التي يسهل التعرف عليها في الصور الجوية وتحديد المرتفعات والمناطق الجبلية وتمييزها عن المناطق المستوية و المنخفضات. كما أن التمييز بين أنواع التكوينات الجيولوجية لسطح الأرض يمكن ملاحظته بسهولة لمفسر المرئية ذو الخبرة الجيدة. وكما سبق الذكر أن الاستعانة بالخرائط الطبوغرافية و الجيولوجية لنفس المنطقة - حتى و إن كانت قديمة بعض الشيء - يعد عاملا مساعدا للمفسر في إتمام التفسير الجيد.



شكل (٤-٢٣) تضاريس سطح الأرض عند تفسير المرئية الفضائية

تظهر النباتات الطبيعية علي المرئيات أو الصور الجوية بلون داكن في الغالب وان كانت درجة اللون تختلف بناءا علي أنواع و عمر الأشجار. أما طرق المواصلات فيمكن التمييز بين الطرق المرصوفة والتي تظهر بلون داكن أملس والطرق غير المرصوفة والتي تظهر بلون فاتح خشن.



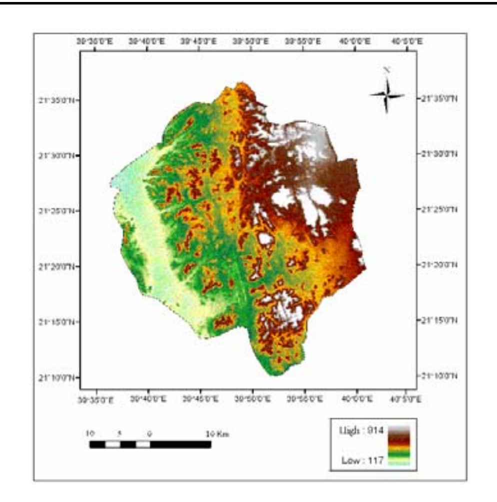
شكل (٤-٢٤) طرق المواصلات عند تفسير الصور الجوية

٤-٧ تقنيات أخرى

معظم الأقمار الصناعية العاملة في مجال الاستشعار عن بعد تتعامل مع صور منفردة أي بدون وجود تداخل بين كل صورتين متتاليتين، مما يجعل من عملية قياس ارتفاعات المعالم المكانية علي المرئيات غير ممكنة. إلا أن هناك بعض الأقمار الصناعية (مثل القمر الفرنسي سبوت ٥) تتيح إمكانية التحسس المتداخل للحصول علي المرئيات المزدوجة ومن ثم إمكانية قياس المناسيب و استخدامها في تطوير الخرائط الكنتورية و نماذج الارتفاعات الرقمية. وعلي الجانب الآخر فتوجد أنواع من الأقمار الصناعية المخصصة للعمل بأشعة الرادار (أي أنها أقمار فاعلة وليست سلبية) وتتيح بياناتها استنباط المناسيب و بيان اختلافات التضاريس علي سطح الأرض.

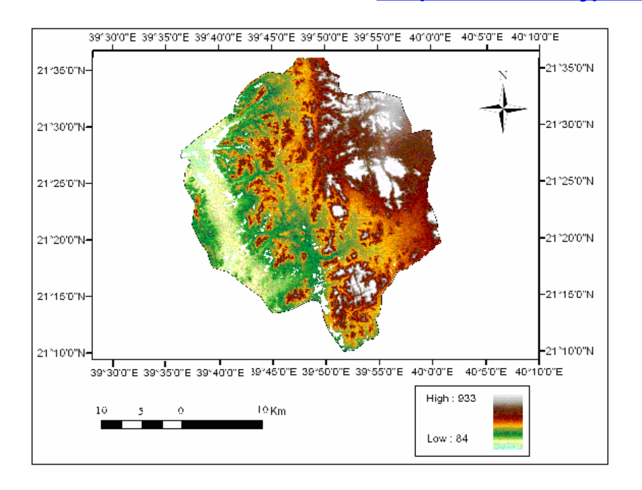
٤-٧-١ تقنيات المسح الراداري بالأقمار الصناعية

أطلقت وكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) في عام ١٩٩٩م (١٤١٩ هـ) بالتعاون مع اليابان تقنية قياس الانعكاس الراديومتري الحراري المحمول فضائيا أو اختصارا "أستر". يتم التحسس أو الاستشعار في هذه التقنية من خلال ١٤ نطاقا من نطاقات الطاقة الكهرومغناطيسية تتراوح ما بين نطاقات الضوء المرئي و نطاقات الأشعة تحت الحمراء الحرارية. وتتيح هذه التقنية مرئيات فضائية بتغطية مكانية ٦٠×٦٠ كيلومتر و ذات قدرة تمييز مكانية ١٥متر للاستشعار المرئي، ٣٠ للاستشعار بالأشعة تحت الحمراء القريبة، ٩٠ متر للاستشعار بالأشعة تحت الحمراء الحرارية. لكن أهم مميزات تقنية أستر أنها تتيح التصوير المزدوج (وجود تداخل بين كل صورتين متتاليتين) مما يمكن من استنباط مناسيب المعالم المكانية بهدف تطوير الخرائط الطبوغرافية. كما أن مرئيات هذه التقنية متاحة مجانا للمستخدمين حول العالم من خلال موقع وكالة ناسا للفضاء علي شبكة الانترنت في الرابط: http://asterweb.jpl.nasa.gov/data.asp . كما قامت وكالة الفضاء الأمريكية ومن خلال مرئيات تقنية أستر بتطوير نموذج ارتفاعات رقمية يغطي العالم كله ويوضح تضاريس سطح الأرض بدرجة تمييز مكانية (حجم الخلية) تبلغ ٣٠ متر. وهذا النموذج متاح للتحميل مجانا للمستخدمين في الرابط:http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp .



شكل (٤-٢٥) نموذج لتضاريس مدينة مكة المكرمة بناءا علي تقنية أستر

أطلقت وكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) في فبراير ٢٠٠٠م (شوال ١٤٢٠ هـ) مكوك الفضاء التابع لها وعلي متنه جهاز رادار خاص لقياس مناسيب سطح الأرض لمعظم أجزاء اليابسة (من دائرة عرض ٥٦ جنوبا الي دائرة عرض ٦٠ شمالا) وأطلق علي هذه المهمة اسم مهمة الرادار الطبوغرافي بمكوك الفضاء أو اختصارا "أس أر تي أم". ومن خلال قياسات هذه المهم التي استغرقت ١١ يوم أمكن بتطوير نموذج ارتفاعات رقمية يغطي العالم كله ويوضح تضاريس سطح الأرض بدرجة تمييز مكانية (حجم الخلية) تبلغ ٣٠، ٩٠، ٩٠٠ متر. وهذا النموذج متاح للتحميل مجانا للمستخدمين (لحجم الخلية ٩٠ و ٩٠٠ متر فقط) في الرابط: http://www2.jpl.nasa.gov/strm/



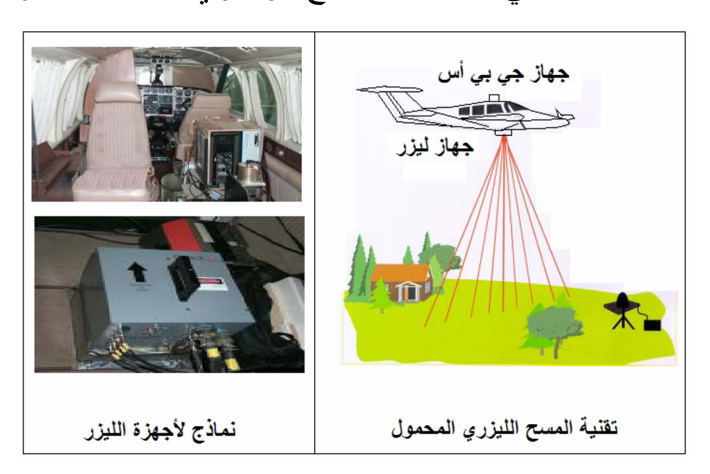
شكل (٤-٢٦) نموذج لتضاريس مدينة مكة المكرمة بناءا علي تقنية أسٍ أر تي أم

تبلغ دقة نماذج الارتفاعات الرقمية العالمية عدة أمتار (مثلا ± ٦ متر لنموذج أس أر تي أم و ± ٩ متر لنموذج أستر) مما يدل علي أنها غير مناسبة للتطبيقات الهندسية أو الحضرية

أو إنتاج الخرائط الطبوغرافية ذات مقاييس الرسم الكبيرة. لكن وعلي الجانب الآخر فأن وجود هذه النماذج العالمية متاحة مجانا تجعلها مناسبة - من وجهة النظر الاقتصادية - لكثير من المستخدمين خاصة في التطبيقات الإقليمية والبيئية و الخرائط الطبوغرافية ذات مقاييس الرسم المتوسطة و الصغيرة.

٤-٧-٢ تقنيات المسح الليزري بالطائرات

في العقدين الأخيرين تم تطوير تقنية جديدة أطلق عليها اسم نظم التحسس و القياس الضوئي المحمولة أو اختصارا اسم ليدار. تعتمد هذه التقنية علي وضع جهاز ليزر علي متن طائرة حيث يقوم بإطلاق أشعة الليزر واستقبالها و تسجيلها بعد انعكاسها من سطح الأرض، ومن هذه القياسات يمكن حساب مناسيب المعالم المكانية. وبوجود جهاز قياس الإحداثيات بالرصد علي الأقمار الصناعية (جي بي أس) علي متن الطائرة فيمكن قياس الإحداثيات الجغرافية الأفقية (خط الطول و دائرة العرض) لكل لحظة من لحظات إطلاق أشعة الرادار، وبالتالي فتتوافر الإحداثيات الجغرافية الثلاثية (خط الطول ودائرة العرض و المنسوب) لجميع النقاط المرصودة طوال مسار الطائرة. ويوجد نوعين رئيسين من نظم الليدار أحدهما مخصص للمسح الراداري لليابسة بينما الثاني مخصص للمسح الراداري لأعماق البحار.



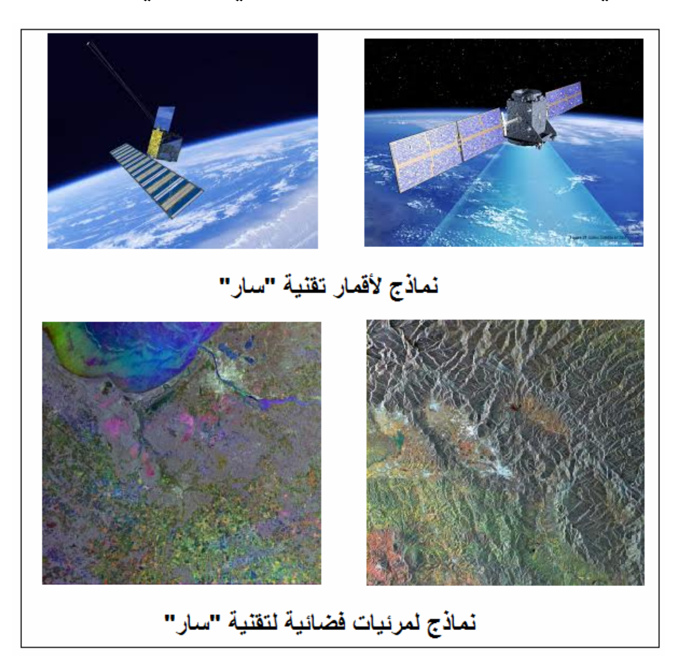
شكل (٤-٢٧) تقنية المسح الليزري المحمول جوا

مع أن تقنية المسح الليزري المحمول جوا بدأت حكومية في المقام الأول في التسعينات من القرن العشرين الميلادي، إلا أن انتشار تطبيقاتها و استخداماتها في المسح الطبوغرافي جعلها تتحول أيضا الي تقنية تجارية في السنوات الأخيرة. وتتفوق تقنية الليدار علي تقنيات التصوير الجوي في أنها تقنية شبه آلية لا تحتاج لتدخل المستخدم كثيرا في عمليات جمع البيانات وتطوير الخرائط الكنتورية، كما أن دقة المسح الليزري تصل الي حدود عشرة

سنتيمترات أو أقل، كما يستطيع جهاز الليزر قياس مناسيب عدة نقاط (تصل الي ١٢ نقطة) في المتر المربع الواحد مما يزيد من كثافة النقاط ودقة رسم التفاصيل الطبوغرافية، بالإضافة الي أن التكلفة الاقتصادية لهذه التقنية أقل كثيرا من تكلفة التصوير الجوي.

٤-٧-٣ الاستشعار الراداري الفاعل بالأقمار الصناعية

توجد عدة نظم لتطبيقات الاستشعار الفاعل حيث يقوم القمر الصناعي بإطلاق أشعة الرادار وتسجيلها بعد انعكاسها مرة أخري من سطح الأرض. ومن هذه النظم - علي سبيل المثال - تقنية المنفذ الراداري الصناعي أو اختصارا "سار"، حيث يتم وضع جهاز الرادار علي متن القمر الصناعي (وأحيانا علي متن طائرة). تعتمد هذه التقنية علي استقبال الأشعة المنعكسة من سطح الأرض من خلال طبق استقبال "أنتنا" مثبتة علي سطح القمر الصناعي، أي أن عدة مناطق من هذا الطبق تستقبل الأشعة المنعكسة مما يعني وجود أكثر من صورة للمعلم الأرضي ومن ثم إمكانية تحديد طبيعة هذا المعلم بقدرة تمييزية كبيرة. كما تتميز هذه التقنية بأن أشعة الرادار لا تتأثر بالغيوم و السحب الموجودة في طبقات الغلاف الجوي مما يجعل مرئياتها مناسبة لتطبيقات الزراعة و الجيولوجيا والهيدرولوجيا. ومن أمثلة الأقمار الصناعية التي تطبق تقنية "سار" القمر الصناعي الأوروبي أي أر أس ٢ و القمر الصناعي الكندي رادارسات-٢ والقمر الصناعي الايطالي تيراسار اكس والقمر الصناعي الياباني ألوس.



شكل (٤-٢٨) تقنية المنفذ الراداري الصناعي "سار"

الفصل الخامس

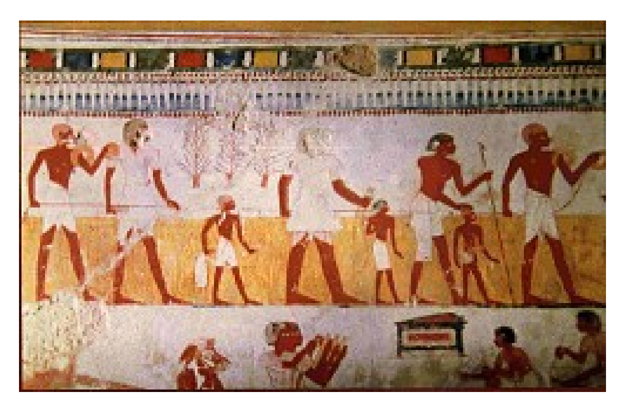
المساحة الأرضية

٥-١ مقدمة

علم المساحة هو العلم الذي يبحث في تحديد المواقع للمظاهر الطبيعية و البشرية الموجودة علي أو تحت سطح الأرض وتمثيل هذه المظاهر علي خرائط تقليدية (مطبوعة) أو رقمية (باستخدام الحاسب الآلي). أيضا يمكن تعريف علم المساحة بأنه العلم الذي يبحث في الطرق المناسبة لتمثيل سطح الأرض على خرائط بحيث يشمل هذا التمثيل بيان جميع المحتويات القائمة والموجودة على سطح الأرض ، سواء أكانت طبيعية (مثل الهضاب والجبال والصحاري والأنهار والبحار والمحيطات) أو كانت صناعية (مثل الترع والمصارف والقناطر والسدود والطرق وخطوط السكك الحديدية والمنشآت والمباني والمدن وحدود الدول السياسية) ، وكذلك حدود الملكيات الخاصة والعامة. ومن الواجب أن تكون الخريطة صورة صادقة مصغرّة للطبيعة التي تمثلها، وأن تؤدي الغرض الذي عملت من أجله تاما كاملا.

٥-٢ نبذة تاريخية

ترجع بدايات علم المساحة إلي آلاف السنين حيث وجدت آثار تدل علي أن قدماء المصريين (ألف و خمسمائة عام قبل الميلاد) قد استخدموا المساحة في قياس و تحديد الملكيات الزراعية وذلك بهدف حساب مساحات الأراضي الزراعية لتقدير الضرائب لها ، وأيضا في إعادة تثبيت علامات حدود الملكيات بعد حدوث فيضان عالي لنهر النيل. وأستخدم المصريون القدماء أدوات بسيطة لقياس المسافات و اخترعوا وحدات لها. وكان يطلق علي العاملين بالمساحة أسم "شادي الحبل" Rope Stretchers حيث كانوا يستخدمون الحبال في قياس المسافات. كما تثبت الخصائص الهندسية لأهرامات الجيزة في مصر (وخاصة تساوي أضلاع الأضلاع بدقة و التوجه الدقيق لجهة الشمال) وكذلك اختيار موقع معبد أبو سمبل في جنوب مصر (بحيث تتعامد أشعة الشمس علي وجه تمثال الملك تحديدا في يوم عيد ميلاده) أن المصريين القدماء كانت لديهم خبرة جيدة بأعمال المساحة.



شكل (٥-١) قياسات المساحة في عهد قدماء المصريين

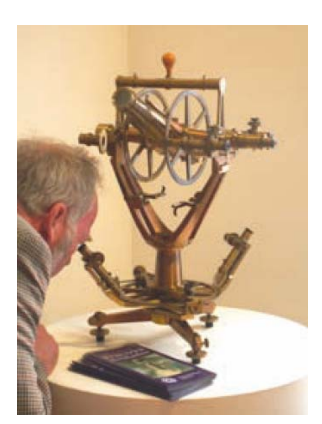
ومن أشهر التجارب المساحية في ذلك العصر ما قام به العالم الإغريقي أراتوستين Eratosthenes - في عام ٢٠٠ قبل الميلاد تقريبا في مدينة الإسكندرية - بمحاولة حساب محيط الأرض والتي كانت بداية علم المساحة الجيوديسية. وتلا ذلك ابتكار اليونانيون والرومان لعدد من أجهزة المساحة لعمل التوجيه والتسوية، ويعتبر العالم اليوناني هيرون Heron - في عام ١٢٠ قبل الميلاد - الرائد الأول في المساحة والذي حولها إلي علم متخصص يحتاج للدراسة و التدريب.

وقد أضاف علماء المسلمين إضافات علمية قوية لعلم المساحة فقد ابتكروا أجهزة قياس الزوايا والتوجيه مثل جهاز الإسطرلاب والأجهزة الدقيقة للتسوية ، كما برعوا في الرياضيات التي يقوم عليها علم المساحة مثل العالم الكبير الخوارزمي الذي أنشأ أول خريطة دقيقة للعالم عرفت باسم خريطة المأمون.



شكل (٥-٢) جهاز الإسطرلاب لقياس الزوايا

ومع بداية القرن الثامن عشر الميلادي بدأ إنشاء شبكات الثوابت الأرضية في أوروبا بهدف إقامة العلامات المساحية التي تسمح بالتحديد الدقيق للمواقع لكل دولة.




شكل (٥-٣) نماذج لأجهزة ثيودوليت قديمة لقياس الزوايا

٥-٣ أقسام المساحة

توجد عدة تقسيمات لأنواع تطبيقات المساحة سواء من حيث مجال الاستخدام أو من حيث الهدف من العمل المساحي أو من حيث الجهاز المساحي المستخدم ... الخ. إلا أن أقسام المساحة هي:

(أ) المساحة الأرضية Terrestrial Survey:

تشمل المساحة الأرضية تطبيقات و قياسات علم المساحة علي سطح الأرض من خلال أجهزة موضوعة علي سطح الأرض ، وتنقسم طبقا لطبيعة هذه القياسات إلي نوعين أساسيين:

أ-١ المساحة الجيوديسية Geodetic Survey:

في هذا النوع من علوم المساحة يتم الاعتماد علي الشكل الحقيقي شبه الكروي للأرض - والذي هو شكل غير مستوي - ومن ثم تعتمد الأجهزة و طرق الحسابات المستخدمة في المساحة الجيوديسية علي هذا المبدأ الهام. غالبا يتم استخدام المساحة الجيوديسية في تمثيل مساحات كبيرة من سطح الأرض.

أ-٢ المساحة المستوية Plane Survey:

عند إجراء القياسات المساحية في منطقة صغيرة من سطح الأرض (عدة كيلومترات مربعة) يمكن إهمال الشكل الحقيقي للأرض والاكتفاء بافتراض أن هذا الجزء الصغير يمكن تمثيله كمستوي ، ومن هنا جاء أسم المساحة المستوية.

تنقسم المساحة المستوية إلي فرعين: (١) المساحة التفصيلية Cadastral Survey والتي تهتم بتوضيح حدود الملكيات العامة و الخاصة ويكون هذا التمثيل باستخدام بعدين فقط (الطول و العرض) لكل هدف ولذلك يسمي هذا النوع من أقسام المساحة بالمساحة ثنائية الأبعاد، (٢) المساحة الطبوغرافية Topographic Survey والتي تهتم بقياس البعد الثالث (الارتفاع أو الانخفاض) لكل هدف بحيث يتم تمثيله من خلال ثلاثة أبعاد: الطول و العرض و الارتفاع. ولذلك تسمي المساحة الطبوغرافية باسم المساحة ثلاثية الأبعاد.

كما توجد بعض التقسيمات الأخرى للمساحة المستوية حيث يقسمها البعض إلي عدة أنواع طبقا للهدف من المشروع المساحي ذاته مثل:

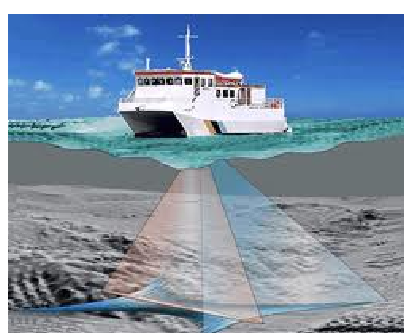
- المساحة الأرضية أو التفصيلية Land or Cadastral Survey: تهتم بالتحديد الدقيق للمواقع و الحدود لقطع الأراضي في منطقة صغيرة.
- المساحة الطبوغرافية Topographic Survey: تهتم بجمع الأرصاد و القياسات الأفقية وكذلك الارتفاعات للمظاهر الطبيعية و البشرية لتطوير الخرائط ثلاثية الأبعاد.
- المساحة الهندسية أو الإنشائية Engineering or Construction Survey: تهتم بجمع القياسات لكل مراحل تنفيذ المشروعات الهندسية.
- مساحة الطرق Route Survey: تهتم لتنفيذ العمل المساحي المطلوب لإنشاء مشروعات النقل مثل الطرق و السكك الحديدية ومد الأنابيب وخطوط الكهرباء.

(ب) المساحة التصويرية أو الجوية Photogrammetry:

تتكون المساحة الجوية من عمل قياسات من الصور الملتقطة بكاميرات موضوعة في طائرات ثم استخدام هذه القياسات في إنتاج الخرائط المساحية.

(ج) المساحة البحرية أو الهيدروجرافية Hydrographic Survey:

تهتم المساحة البحرية – كما هو واضح من أسمها – بتحديد مواقع الظاهرات الموجودة علي أو تحت سطح المياه في البحار والأنهار و المحيطات. ومن أمثلة منتجات المساحة البحرية الخرائط الهيدروجرافية التي تمثل تضاريس قاع البحر.




شكل (٥-٤) المساحة الهيدروجرافية

(د) المساحة الفلكية Astronomical Survey:

يعتمد هذا الفرع من أفرع المساحة علي رصد الأجرام السماوية واستخدام هذه القياسات في تحديد مواقع الظاهرات الجغرافية الموجودة علي سطح الأرض. وكانت المساحة الفلكية أحد أهم تطبيقات علم المساحة في إنشاء شبكات الثوابت الأرضية (نقاط معلومة الإحداثيات) قديما، إلا أن هذا التطبيق أصبح الآن يعتمد علي استخدام الأقمار الصناعية بدلا من النجوم الطبيعية. مازال الاعتماد علي المساحة الفلكية قسما هاما من أقسام علم المساحة وخاصة في التطبيقات المساحية التي تتطلب دقة عالية جدا - مثل دراسة تحركات القشرة الأرضية - إلا أن تقنياته وأجهزته قد تغيرت و تطورت كثيرا في الفترة الماضية، مثل تقنية VLBI (تقنية قياس خطوط القواعد الطويلة جدا باستقبال أشعة الأجرام السماوية).




شكل (٥-٥) هوائيات تحديد المواقع بتقنية VLBI

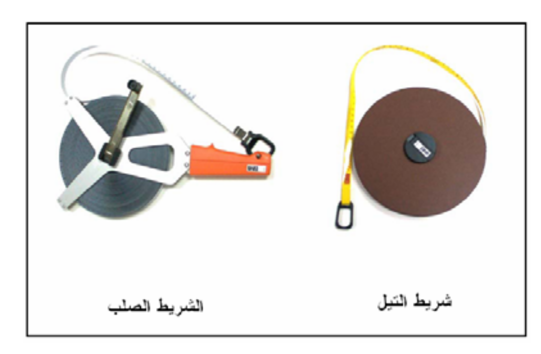
٥-٤ القياسات المساحية

٥-٤-١ قياس المسافات

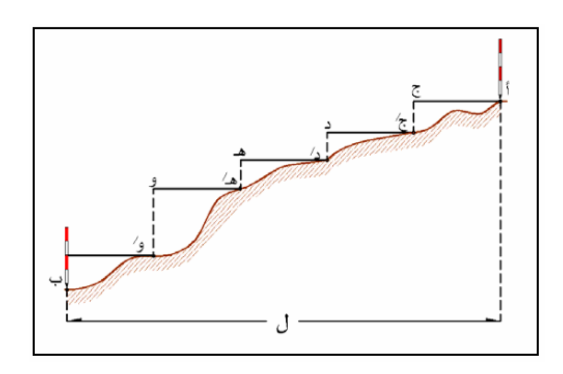
تعد المسافات أحد أهم أنواع القياسات المساحية ، وان كانت هي أقدمها تاريخيا إلا أنها مازالت تحتل جانبا كبيرا من الأهمية في العمل المساحي. وكما هو معروف فأننا نقوم بقياس المسافة المائلة (المباشرة أو الفراغية) في الطبيعة ثم نحولها – حسابيا – إلي المسافة الأفقية التي يتم توقيعها في الخرائط. يوجد أسلوبين لقياس المسافات في الطبيعة: إما بالشريط أو باستخدام جهاز قياس المسافات الكترونيا.

قياس المسافات بالشريط Tape:

تصنع الشرائط إما من (١) الصلب أو من (٢) مادة الكتان أو التيل ، بينما للقياسات الدقيقة يتم استخدام (٣) شريط الأنفار (٣٥% من مادة النيل و ٦٥% من الحديد) حيث أن لا يتأثر كثيرا بالحرارة إلا أنه أغلي سعرا من كلا النوعين السابقين. تأتي الشرائط في أطوال محددة هي ١٠، ٢٠ ، ٣٠ ، ٥٠ ، ١٠٠ متر. يتميز شريط التيل بسهولة حمله لأنه خفيف وعادة يتم استخدامه في الأعمال التي لا تتطلب دقة عالية لأنه يتأثر بالبلل ويتغير طوله نتيجة الشد. أما الشريط الصلب فهو أدق من النوع الأول نظرا لصلابته وقله تمدده أو انكماشه إلا أنه أثقل وزنا من الشريط الكتان كما أنه قابل للصدأ. وفي حالة قياس المسافة علي أرض غير منتظمة الميل فيتم تجزئتها إلي عدة أقسام بحيث يكون الشريط في وضع أفقي في كل جزء، وذلك باستخدام خبط الشاغول:



شكل (٥-٦) أنواع الشريط



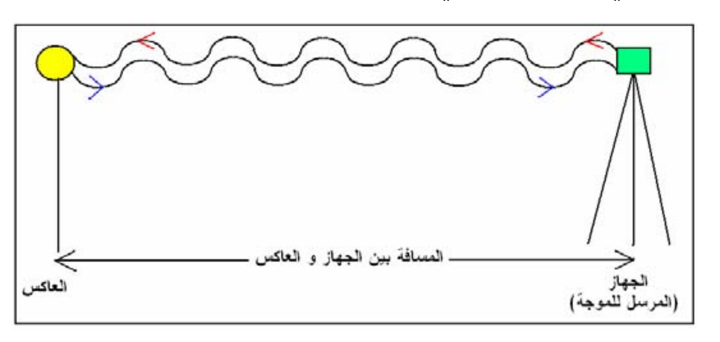
شكل (٥-٧) قياس المسافات علي أرض مائلة

قياس المسافات الكترونيا:

يعتمد مبدأ قياس المسافات الكترونيا علي المعادلة الرياضية التي تجمع كلا من المسافة و السرعة و الزمن:

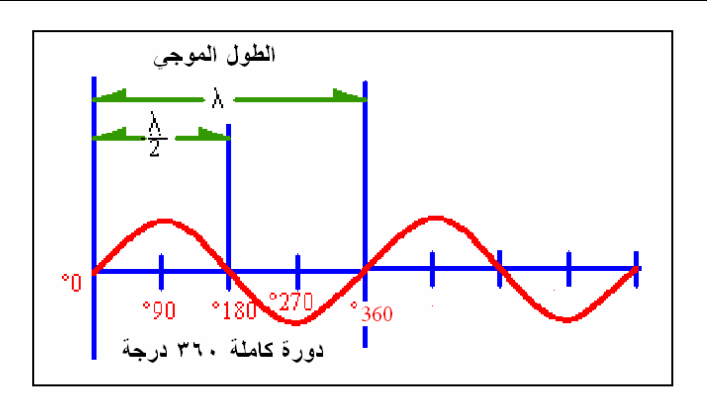
المسافة = السرعة × الزمن

فـإذا تمكننـا مـن قيـاس سـرعة شـعاع أو موجـة (كهرومغناطيـسية electro-magnetic أو كهروبصرية electro-optical) أثناء انتقاله بين نقطتين وقمنا بقياس الزمن الذي استغرقته هذه الموجة للسفر بين كلا النقطتين فيمكننا حساب المسافة بينهما. بدأ تطبيق هذا المبدأ في مجال المساحة وذلك عن طريق إطلاق موجة من جهاز (عند النقطة الأولي من الخط المطلوب قياسه) إلي النهاية الثانية للخط حيث يوجد جهاز عاكس يقوم بعكس هذه الموجه في نفس مسارها ، ويقوم الجهاز المرسل بقياس الفترة الزمنية التي استغرقتها هذه الموجة منذ إطلاقها.ومن المعلوم أن أي موجه تسير في الفضاء تكون سرعتها هي سرعة الضوء التي تعادل تقريبا ثلاثمائة ألف كيلـومتر فـي الثانيـة (أو بالـضبط ٢٩٩٧٩٢.٤٥٨ كيلـومتر فـي الثانيـة) ، أي أن قيـاس الفتـرة الزمنية للموجه هو كل ما يلزم لحساب المسافة بين كلا من جهاز الإرسال والعاكس. ومن هنا جـاءت فكـرة ابتكـار أجهـزة قيـاس المـسافات الكترونيـا Electronic Distance Measurement والتي اختصرت إلي الأحرف الثلاثة EDM.



شكل (٥-٨) مبدأ قياس المسافات الكترونيا

ينتشر الضوء في الغلاف الجوي علي هيئة منحني أقرب ما يكون لمنحني جيب الزاوية sinusoidal curve المعروف الذي يحدد طول الموجة الواحدة wavelength (نرمز لها بالرمز λ) وزاوية الطور Phase angle التي تبلغ ٣٦٠° درجة للدورة الكاملة (نرمز لها بالرمز θ).



شكل (٥-٩) انتشار الضوء

وللوصول لدقة عالية في قياس المسافات الكترونيا فأن أجهزة EDM لابد أن تقيس فرق الزمن للموجة الكهرومغناطيسية بدقة عالية جدا مما يتطلب وجود ساعة ذرية (وهذا سيجعل سعر الجهاز عالي جدا أيضا). بدلا من ذلك فأن أجهزة EDM تعتمد علي طريقة فرق الطور Phase Difference والتي فيها يتم قياس عدد الدورات الكاملة بالإضافة لجزء الدورة الأخيرة للموجة المرسلة من جهاز الإرسال وحتى وصولها إليه مرة أخري بعد انعكاسها من العاكس الموضوع في النهاية الثانية للخط المطلوب قياسه. ويتم حساب المسافة كالآتي:

$$D = (n \lambda + p) / 2 \quad (5\text{-}1)$$

حيث:

D المسافة المطلوب قياسها

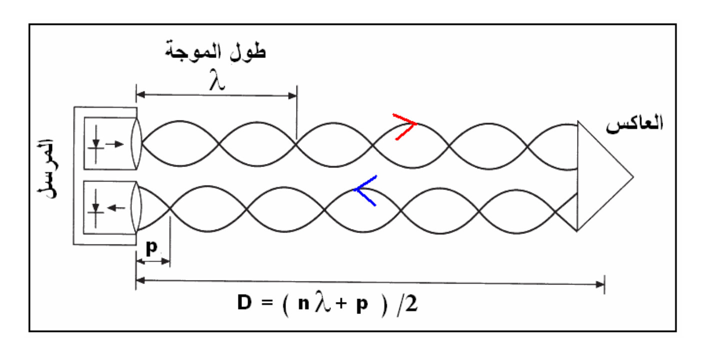
n عدد الموجات الصحيحة أو الكاملة

λ الطول الموجي أو طول الموجة

p طول جزء الموجة المتبقية

ويتم حساب طول جزء الموجة المتبقية بنسبة قيمة زاوية الطور له (θ) ٣٦٠ درجة من طول الموجة الكاملة ، كالآتي:

$$p = (\theta / 360^{\circ}) \lambda \quad (5\text{-}2)$$



شكل (٥-١٠) قياس المسافات الكترونيا بالموجات الكهرومغناطيسية

وتتعدد أنواع الأشعة المستخدمة في قياس المسافات الكترونيا وتشمل (١) موجات الراديو وتستخدم في قياس المسافات الطويلة حتى ٥٠-٦٠ كيلومتر ، (٢) الموجات تحت الحمراء وهي الأكثر استخداما الآن في أجهزة المحطات الشاملة Total Station وتستخدم لقياس المسافات ١٠-٣٠ كيلومتر ، (٣) الموجات الضوئية المرئية والتي تستخدم لقياس المسافات الأقل من ١٠ كيلومتر ، (٤) الليزر المرئي للمسافات متناهية الصغر والتي تبلغ عشرات الأمتار. وتعتمد معظم أجهزة المساحة لقياس المسافات الكترونيا علي وجود عاكس Reflector أو منشور عاكس Prism يقوم بعكس الموجة إلي جهاز الاستقبال مرة أخري. يتكون العاكس من منشور من الزجاج النقي مطلي بمادة الفلوريسنت - لزيادة قوة انعكاس الأشعة - يوضع غاليا داخل إطار بلاستيكي ملون لسهولة رؤيته من مسافات كبيرة. وقد يوضع العاكس علي حامل ثلاثي لضمان وقوعه رأسيا أعلي النقطة المحتلة بالضبط (للقياسات المساحية الدقيقة) أو يوضع أعلي عصا pole يمسكها الراصد بيده.



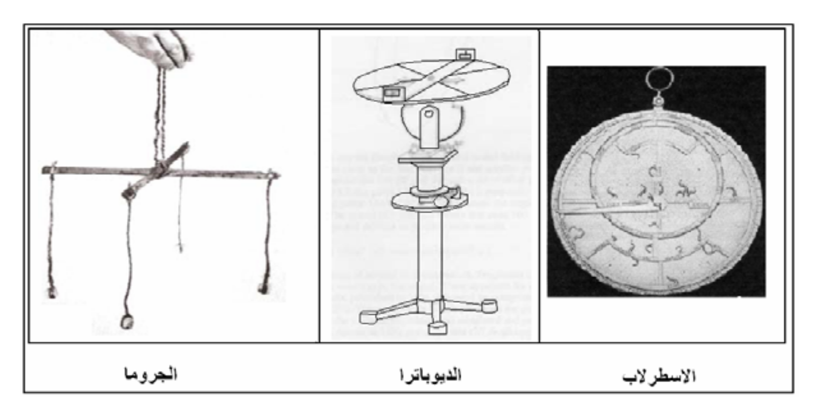
شكل (٥-١١) عواكس أجهزة قياس المسافات الكترونيا

كما توجد أجهزة مساحية يمكنها قياس المسافات الكترونيا بدون عاكس Reflector-Less (للمسافات القصيرة وحتي مئات الأمتار) وذلك باستخدام موجات تتميز بخاصية الانعكاس عند اصطدامها بأي هدف. وبذلك فأن هذه النوعية من الأجهزة المساحية تمكننا من

قياس المسافات دون الحاجة لاحتلال نقطة نهاية الخط ، أي يمكنها قياس المسافة إلي أعلي قمة برج أو إلي خط تيار كهربائي .... الخ.

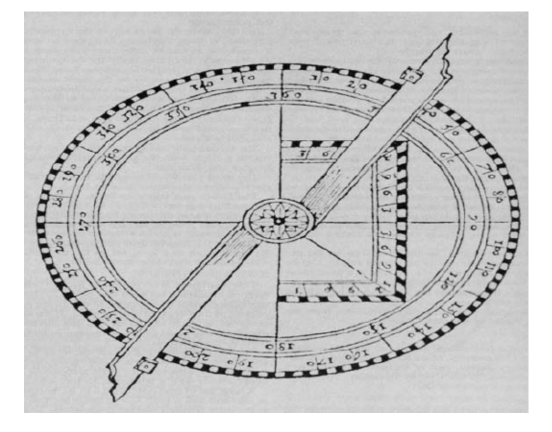
٥-٤-٢ قياس الزوايا

تعد قياسات الزوايا من أهم أنواع القياسات المساحية والتي عرفها الإنسان منذ آلاف السنين. يمكن اعتبار جهاز الجروما Groma هو أول جهاز بدائي أبتكره قدماء المصريين في عام ١٥٠٠ قبل الميلاد تقريبا لإنشاء الزوايا القائمة في الطبيعة. وربما أستمر العمل بهذا الجهاز لعدة قرون قبل أن يتم ابتكار جهاز الديوبترا Dioptra من قبل الرومان في عام ١٥٠ ميلادي تقريبا. أما أول جهاز ملاحي حقيقي فقد كان الإسطرلاب الذي أخترعه علماء المسلمين في حوالي القرن الثامن الميلادي.



شكل (٥-١٢) أجهزة قياسات زاوية تاريخية

أما أسم الثيودوليت Theodolite فقد ظهر لأول مرة في عام ١٥٧١م (٩٧٨ هـ) في كتاب للعالم ليونارد ديجيس Leonard Digges ، ويتكون الجهاز من تدريج دائري أفقي مركب علي عمود رأسي حيث كانت تقاس الزوايا من خلال زوج من النظرات (أو الشعرات) مركبين علي مسطرة دوارة. وفي عام ١٦٣١م (١٠٤٠ هـ) أخترع العالم بيير فيرنر Pierre Vernier أول جهاز ورنية Vernier (أطلق عليها أسمه) وهي تدريج إضافي يركب علي التدريج الأصلي لزاوية الثيودوليت بحيث يمكن قياس الزوايا بأجزاء من الدرجة. إلا أن أهم أنواع أجهزة الثيودوليت المساحي الدقيق بدأ في الظهور تقريبا في العشرينات من القرن العشرين الميلادي علي يد السويسري هينريك فيلد Heinrich Wild وهو الاسم الشهير في عالم تصنيع الثيودوليت المسمي بأسمه Wild الذي ظل لعقود طويلة أشهر و أدق أنواع الأجهزة المساحية لقياس الزوايا.



شكل (٥-١٣) أول جهاز ثيودوليت في التاريخ

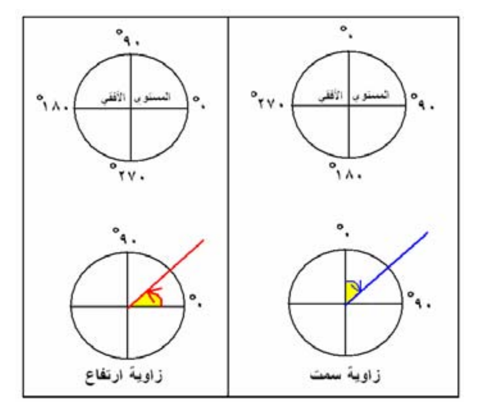
<u>الرفع المساحى بالثيودوليت:</u>

تتكون خطوات الرفع المساحي بالثيودوليت من:

١. الاستكشاف وعمل كروكي عام للمنطقة.
٢. اختيار و تثبيت نقاط المضلع الأساسي.
٣. قياسات المضلع الأساسي.
٤. الرفع التفصيلي للمعالم.
٥. العمل المكتبي و الحسابات.
٦. رسم الخريطة.

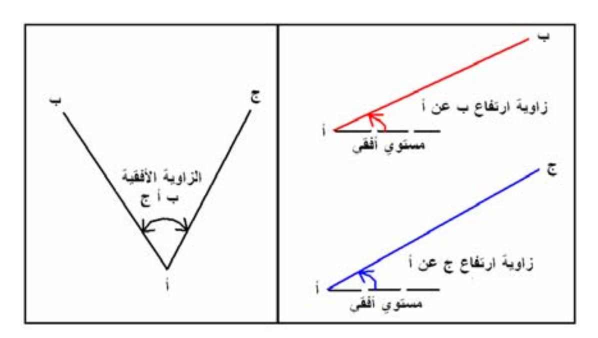
وتختلف أجهزة الثيودوليت في وضع أو تدريج الدائرة الرأسية (المخصصة لقياس الزوايا الرأسية)، فبعض الأجهزة يكون الوضع الأفقي لها عند زاوية رأسية تساوي صفر درجة بينما توجد أجهزة أخري يكون الأفق لها عند زاوية رأسية تساوي ٩٠ درجة. في الحالة الأولي فأن الزاوية الرأسية المرصودة تسمي زاوية الارتفاع Elevation Angle بينما في الحالة الثانية فأن الزاوية الرأسية المرصودة زاوية السمت Zenith Angle. يجب معرفة نوع الزاوية الرأسية لجهاز الثيودوليت المستخدم لأن حسابات الارتفاع بين النقاط المرصودة ستعتمد علي نوع هذه الزاوية. العلاقة بين كلا نوعي الزاوية الرأسية هي:

زاوية الارتفاع + زاوية السمت = ٩٠°



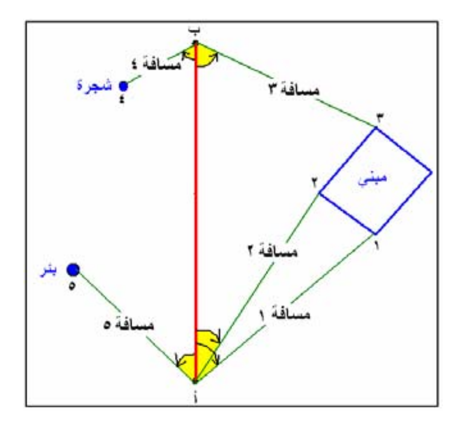
شكل (٥-١٤) زاوية الارتفاع و زاوية السمت

ولكل نقطة مرصودة زاوية رأسية بينما توجد زاوية أفقية واحدة بين كل نقطتين:



شكل (٥-١٥) زوايا الثيودوليت الأفقية والرأسية

تتكون قياسات المضلع الرئيسي من قياس الزوايا الأفقية (الداخلية) والرأسية للمضلع مع قياس كل أطوال أضلاع المضلع سواء باستخدام الشريط أو باستخدام جهاز قياس المسافات الكترونيا EDM في حالة توافره. بالمثل فأن الرفع المساحي بالثيودوليت يشمل قياس الزاوية الأفقية والرأسية لكل معلم بالإضافة لقياس بعد المعلم عن احدي نقاط المضلع الرئيسي.



شكل (٥-١٦) الرفع المساحي بالثيودوليت

٥-٤-٣ قياس المناسيب

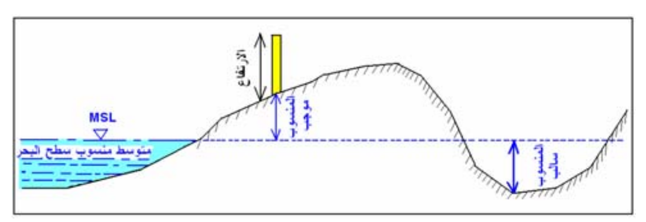
تستخدم تطبيقات المساحة مثل الشريط و الثيودليت في تحديد مواقع (إحداثيات) المعالم الجغرافية في مستوي ، أي من خلال تحديد بعدين (س ، ص أو x,y) لكل نقطة. إلا أن الأرض ليست مستوي إنما هي مجسم شبه كروي وسطحه ليس مستويا بل تتخلله الجبال و الوديان و المنخفضات ، ولتمثيل أي معلم علي الأرض يلزمنا ثلاثة أبعاد وليس أثنين فقط. هذا البعد الثالث (البعد الرأسي z) هو الهدف الذي تسعي الميزانية لقياسه. الميزانية هي فرع المساحة الذي يبحث في الطرق المختلفة لقياس البعد الثالث (الارتفاعات) للمعالم الجغرافية علي سطح الأرض. وتعد الميزانية (أو التسوية) من أهم تطبيقات علم المساحة في كافة المشروعات المدنية و العسكرية علي الأرض، فهي أساس العمل المساحي في تنفيذ مشروعات البناء و الجسور و الكباري و الطرق و السكك الحديدية والترع و المصارف والسدود وتسوية الأراضي ... الخ.

المنسوب والارتفاع

لتحديد البعد الرأسي (ارتفاع أو الانخفاض) لمجموعة من النقاط يلزم سطح مرجعي أو مستوي مقارنه تنسب إليه جميع القياسات ، أي سطح عين يكون الارتفاع عنده مساويا للصفر. يتكون كوكب الأرض من مياه (بحار و محيطات) تغطي ٧٥% من إجمالي سطح الكوكب بينما تمثل اليابسة (القارات) الجزء المتبقي. لذلك أتخذ علماء المساحة منذ مئات السنين مستوي سطح البحر (وامتداده الوهمي تحت اليابسة) كسطح مرجعي لقياس الارتفاعات. بما أن مياه البحار و المحيطات تتأثر علي سطحها بالتيارات البحرية اليومية و تأثيرات المد و الجزر فأن مستوي المقارنة هو متوسط منسوب سطح البحر Mean Sea Level أو اختصارا MSL. فإذا تم قياس البعد الرأسي لأي معلم بدءا من أي مرجع فنطلق علي هذا القياس أسم "الارتفاع Height" بينما إذا تم القياس بدءا من متوسط منسوب سطح البحر MSL فنطلق علي هذا البعد أسم "المنسوب Level". أي أن المنسوب هو ارتفاع من نوع خاص تم قياسه أو تحديده بدءا من متوسط منسوب سطح البحر. يكون المنسوب موجبا إن كان أعلي من منسوب متوسط سطح البحر ، ويكون سالبا إن كان أقل منه.

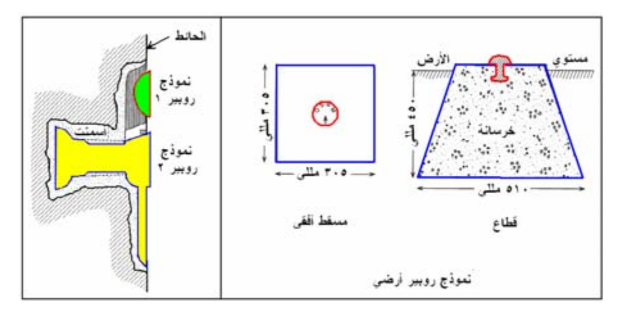
قامت كل دولة بتحديد متوسط منسوب سطح البحر MSL في نقطة محددة ومن ثم تم اعتبار تلك النقطة هي أساس كل القياسات الرأسية (المناسيب) في هذه الدولة. مثلا في مصر فأن محطة تحديد متوسط منسوب سطح البحر كانت في ميناء الإسكندرية (علي ساحل البحر

الأبيض المتوسط) في عام ١٩٠٧م (١٣٢٤ هـ) ولذلك نجد في أسفل كل خريطة مصرية جملة "المناسيب مقاسه نسبة إلي متوسط منسوب سطح البحر عند الإسكندرية في عام ١٩٠٧م". أما في المملكة العربية السعودية فالنقطة الأساسية كانت في مدينة جدة (علي ساحل البحر الأحمر في عام ١٩٦٩م (١٣٨٨ هـ).



شكل (٥-١٧) الارتفاع و المنسوب

وبعد تحديد متوسط منسوب سطح البحر للدولة يتم بناء نقطة ثوابت (علامة أرضية) بالقرب من هذا البئر ويتم قياس ارتفاع هذه النقطة عن متوسط منسوب سطح البحر (أي يتم تحديد منسوب هذه النقطة). أطلق أسم Bench Mark أو اختصارا "BM" أو "الروبير" علي هذه النقطة وعلي كل نقطة معلومة المنسوب. وبطريقة معينة (الميزانية التي سنتحدث عنها لاحقا) تم بناء مجموعة من علامات BM الروبيرات بحيث تغطي كافة الأنحاء المعمورة من الدولة، وهذا ما يطلق عليه أسم شبكة الثوابت الرأسية أو شبكات الميزانية أو الشبكات المساحية الرأسية. وبالتالي فتكون فأن من مهام الجهة الحكومية المسئولة عن المساحة في الدولة (هيئة المساحة في مصر أو إدارة المساحة العسكرية في السعودية) توفير نقاط روبيرات داخل كل مدينة في هذه الدولة بحيث يمكن لأي مشروع هندسي أن يبدأ من نقطة BM معلومة المنسوب بالقرب من موقع المشروع. تكون الروبيرات أما مثبتة في حائط أي مبني (غالبا مبني حكومي) وتسمي روبيرات الحائط أو مثبتة في الأرض وتسمي روبيرات أرضية. ويتم الحصول علي معلومات أي روبير (موقعه بالتحديد وقيمة منسوبة) من الجهة المسئولة عن أعمال المساحة في هذه المدينة أو هذه الدولة.



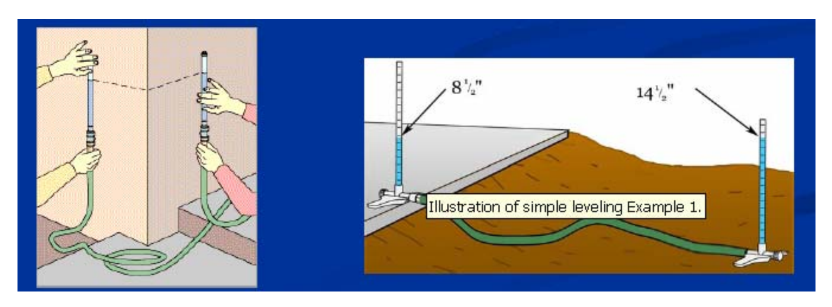
شكل (٥-١٨) أنواع و نماذج روبيرات

الميزانية Levelling:

الميزانية هي العملية المساحية التي من خلالها يتم تحديد ارتفاع أي نقطة عن متوسط منسوب سطح البحر. تنقسم الميزانية إلي نوعين رئيسيان: (١) ميزانية مباشرة أو ميزانية هندسية Direct or Spirit Levelling ، (٢) ميزانية غير مباشرة مثل الميزانية البارومترية و الميزانية الهيدروستاتيكية و الميزانية المثلثيه. تعتمد الميزانية البارومترية علي مبدأ أن الضغط الجوي يتناسب عكسيا مع الارتفاع فوق مستوي سطح البحر ، فإذا تمكننا من قياس فرق الضغط الجوي بين نقطتين (باستخدام جهاز البارومتر) فيمكن تحويله حسابيا إلي فرق المنسوب بين هاتين النقطتين. تعد دقة الميزانية البارومترية دقة منخفضة ولا تستخدم إلا في أعمال الاستكشاف. تعتمد الميزانية الهيدروستاتيكية علي نظرية الأواني المستطرقة ، فإذا وضعنا أسطوانتين زجاجيتين مملوءتان بسائل (علي نقطتين) وبينهما أنبوب من المطاط ويوجد تدريج علي جدار كلا منهما فأن فرق قراءة هذين التدريجيين يعبر عن فرق المنسوب بين كلتا النقطتين. ينحصر استخدام الميزانية الهيدروستاتيكية في المسافات القصيرة جدا حيث أن طول الأنبوب الواصل بين كلا الزجاجتين لا يكون طويلا بصفة عامة. تعتمد الميزانية المثلثيه علي قياس الزاوية الرأسية بين نقطتين (باستخدام الثيودليت) وقياس المسافة المائلة بينهما (بالشريط أو باستخدام EDM) ثم حساب فرق الارتفاع بين هاتين النقطتين. حديثا أمكن قياس فرق الارتفاع بين النقاط باستخدام تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع المعروف باسم GPS ثم تحويله حسابيا إلي فرق المنسوب بين هذه النقاط.

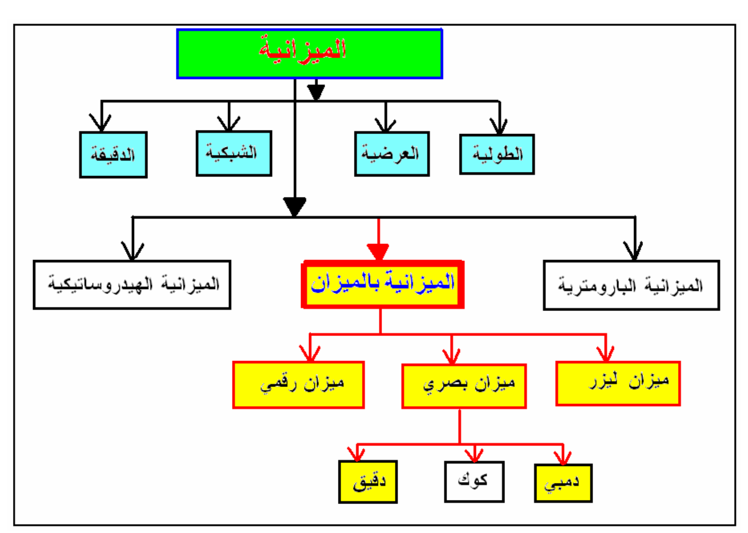


شكل (٥-١٩) أجهزة الميزانية البارومترية



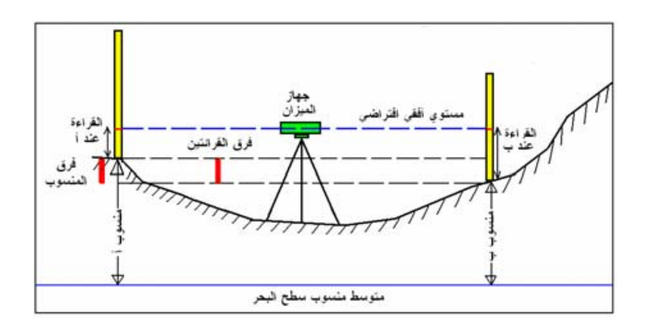
شكل (٥-٢٠) الميزانية الهيدروستاتيكية

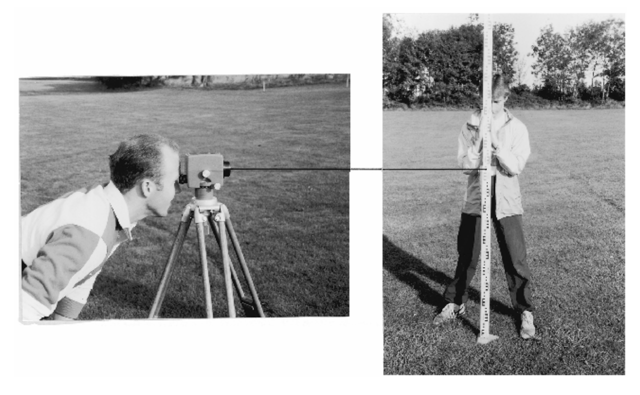
تنقسم الميزانية المباشرة من حيث أسلوب تنفيذها في الطبيعة إلي ميزانية طولية (في اتجاه طولي مثل محور طريق) و عرضية (مثل قطاعات عرضية علي المحور الأساسي للمشروع) و شبكية (تغطي منطقة من الأرض) ، وفي حالة الوصول لدقة عالية في تحديد فروق المناسيب (باستخدام أجهزة خاصة عالية الدقة) فتسمي الميزانية بالميزانية الدقيقة.



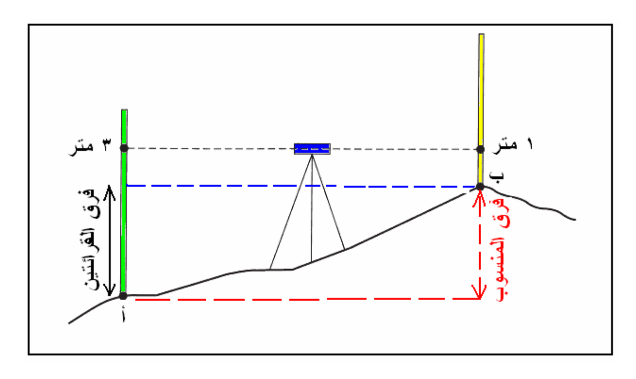
شكل (٥-٢١) الميزانية

تعتمد فكرة الميزانية المباشرة (أو الميزانية الهندسية) علي وجود جهاز يحدد المستوي الأفقي بين نقطتين (يسمي جهاز الميزان) مع وجود مسطرة مدرجة (تسمي قامة) توضع رأسيا عند كل نقطة. فإذا تم تحديد تقاطع المستوي الأفقي مع المسطرة (القامة) عند كل نقطة وتسجيل هاتين القراءتين فأن فرق الارتفاع (فرق المنسوب) بين النقطتين هو فرق قراءتي القامتين. فإذا علمنا منسوب نقطة منهما أمكن حساب منسوب النقطة الثانية. أذا أخذنا المثال التالي حيث وضعت القامة الأولي عند النقطة أ معلومة المنسوب ووضعت القامة الثانية عند النقطة ب المطلوب تحديد منسوبها. وضع جهاز الميزان بين النقطتين وكانت قراءة القامة عند أ تبلغ ٣ متر بينما قراءة القامة عند ب تبلغ ١ متر. إذن فرق القراءتين يساوي ٢ متر ، وهو نفس قيمة فرق المنسوب بين النقطتين أ و ب. فإذا علمنا منسوب النقطة أ (ارتفاعها عن منسوب متوسط سطح البحر) فيمكن حساب منسوب النقطة الثانية ب.





شكل (٥-٢٢) مبدأ الميزانية المباشرة

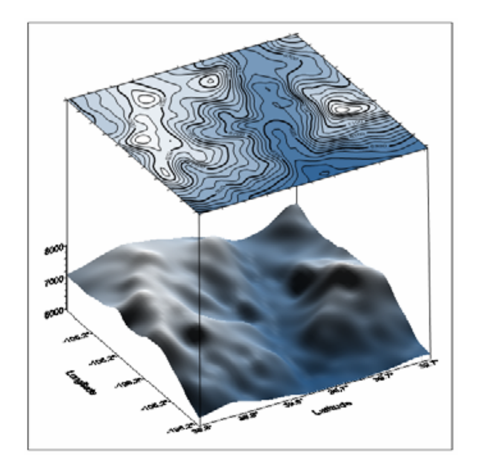


شكل (٥-٢٣) مثال للميزانية المباشرة

<u>الميزانية الشبكية:</u>

الهدف من الميزانية الشبكية هو تحديد مناسيب مجموعة من النقاط في منطقة جغرافية معينة ، أي أنها يمكن تخيلها أنها مجموعة من خطوط الميزانيات الطولية و العرضية التي تكون شبكة فيما بينها ومن هنا جاء اسم الميزانية الشبكية. من خلال قياس فروق المناسيب بين هذه النقاط يمكن رسم خريطة (أو خرائط) لتضاريس الأرض في هذه المنطقة لاستخدامها في حساب كميات الحفر أو الردم اللازمة لمشروع هندسي معين. أهم تلك الخرائط المساحية - الناتجة عن الميزانية الشبكية - هي المعروفة باسم الخريطة الكنتورية حيث خط الكنتور هو الخط الوهمي الذي يصل بين مجموعة من النقاط التي لها نفس المنسوب. وتوجد عدة برامج

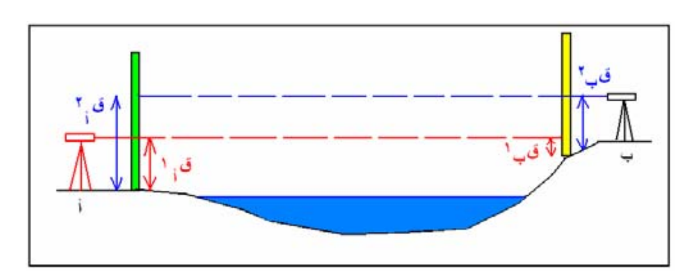
حاسب إلي software لعمل الخريطة الكنتورية مثل برنامج Surfer وبرنامج Global Mapper وأيضا إمكانيات الكنتور في برامج نظم المعلومات الجغرافية مثل برنامج Arc GIS.



شكل (٥-٢٤) خطوط الكنتور

الميزانية العكسية:

من مواصفات إجراء الميزانية الطولية أن يكون الميزان – بقر الإمكان – في منتصف المسافة بين القامة الأمامية و القامة الخلفية. فان لم يتحقق هذا الشرط فأن الميزانية ستتعرض لتأثير أن خط النظر سيكون مائلا وأيضا ستتعرض لتأثير تكور سطح الأرض. في هذه الحالة ننفذ الميزانية العكسية والتي تتمثل في إجراء ميزانيتين مختلفتين في الاتجاه (ومن هنا جاء أسم الميزانية العكسية). من أمثلة هذا الوضع أننا نريد قياس فرق المنسوب بين نقطتين علي جانبي نهر أو مجري مائي حيث لا يمكن وضع الميزان في منتصف المسافة. نضع الميزان في أحد جاني النهر (أو أيا كان المشروع) ونأخذ قراءتي قامة أحداهما نفس جانب النهر و الأخرى علي الجهة المقابلة من النهر. ثم ننقل الميزان للضفة الأخرى من النهر ونكرر نفس العمل ونأخذ القراءات علي نفس القامتين (دون أن يتحركا من مكانهما). نحسب فرق المنسوب من كلا وضعي الميزان ثم نحسب متوسطهما ليكون هو فرق المنسوب بين النقطتين.



شكل (٥-٢٥) الميزانية العكسية

الميزانية الدقيقة:

الميزانيـة الدقيقـة Precise Levelling هـي ميزانيـة طوليـة عاديـة إلا أنهـا تهـدف للوصول لدقة عالية في قياس فروق المناسيب بين نقطتين ممـا يجعل لهـا مواصـفات خاصـة فـي الأجهـزة المستخدمة و أسلوب العمل الحقلـي وخطـوات الحساب. تستخدم الميزانيـة الدقيقـة فـي إنشاء علامات روبير BM جديدة لتكون أساسا لتنفيذ أعمال الميزانية في منطقة المشروع ، كما تستخدم أيضا فـي مراقبـة وقيـاس هبـوط المنـشئات الهندسية الـضخمة مثـل الـسدود و القنـاطر. ويسمي جهاز الميزان المستخدم فـي الميزانيـة الدقيقـة بـالميزان الـدقيق Precise Level وهو ميزان لا يختلف في شكله أو تصميمه عن الميزان البصري العادي إلا أنه يختلف عنـه فـي عدة نقاط جوهرية من حيث الدقة.

الميزانية المثلثيه:

يعتمد هذا النوع من الميزانية علي قياس زاويـة الارتفـاع (أو الانخفـاض) عن المستوي الأفقي بين نقطتين لحساب فرق المنسوب بينهمـا. وحيث أن الميزانيـة المثلثيـه هـي نـاتج حسابي لقيـاس زوايـا فـأن جهـاز المستخدم فيهـا هـو جهـاز الثيودليت (أو جهـاز المحطـة الشاملة) ولـيس جهاز الميزان.

٥-٥ الأجهزة المساحية

توجـد العديـد مـن أنـواع الأجهـزة المـساحية إلا أن أشـهرها و أكثرهـا اسـتخداما: جهـاز الثيودوليـت لقيـاس الزوايـا، جهـاز المحطـة الـشاملة لقيـاس الزوايـا و المـسافات، جهـاز الميـزان لقياس فرق المنسوب.

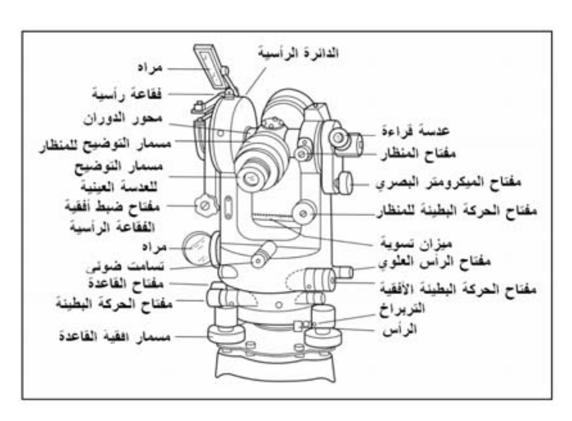
٥-٥-١ جهاز الثيودوليت

يمكن تقسيم أجهزة الثيودوليت المساحية إلـي مجموعتين: الأجهـزة البـصرية و الأجهـزة الرقمية. كما توجـد أنـواع خاصـة مـن أجهـزة الثيودوليـت مثـل جهـاز الجيـرو-ثيودوليـت Gyro-Theodolite المستخدم للقياسات تحت سطح الأرض (في المناجم و الأنفاق).

الثيودوليت البصري:

يتكون الثيودوليت البصري (التقليدي) من عدد من الأجزاء الأساسية تشمل:

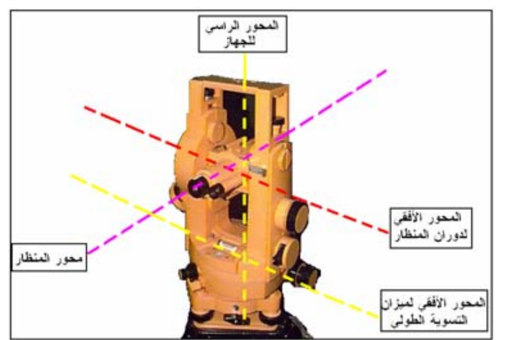
- التربراخ: القاعدة التي تجمع فوقها كل أجزاء الجهاز والتي بها ثلاثة مفاتيح لضبط أفقية ميزان التسوية (فقاعة الماء) المثبت عليها ، بالإضافة لمنظار تسامت ضوئي لضمان وقوع محور الجهاز أعلي النقطة الأرضية.
- الجزء السفلي: يحتوي الدائرة الأفقية لقياس الزوايا الأفقية ولها مفتاحين للحركة أحدهما للحركة الأفقية السريعة والآخر للحركة الأفقية البطيئة.
- الجزء العلوي أو الأليداد: يحتوي الدائرة الرأسية لقياس الزوايا الرأسية بالإضافة لميزان تسوية (فقاعة) رأسي.
- المنظار (التلسكوب) المجهز أيضا بمفتاحين للحركة الرأسية (السريعة و البطيئة) بالإضافة لعدستين عينية (القريبة من عين الراصد) و شيئية (الموجهة للهدف) ومعهما مفتاح لتوضيح الرؤية لكل عدسة.

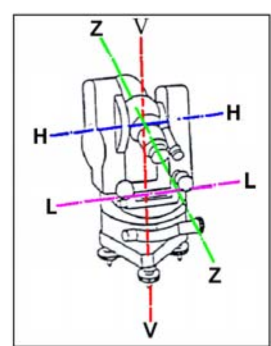


شكل (٥-٢٦) أجزاء الثيودوليت

لجهاز الثيودوليت ٤ محاور تتكون من:

١. المحور الرأسي V-V: يمر بمركز الدائرة الأفقية ويدور الجهاز حوله في مستوي أفقي.
٢. المحور الأفقي H-H: يمر بمركز الدائرة الرأسية ويدور الجهاز حوله في مستوي رأسي.
٣. محور ميزان التسوية الطولي L-L: الخط المستقيم المماس لميزان التسوية الطولي عند المنتصف.
٤. محور خط النظر Z-Z: الخط الواصل بين نقطة تقاطع حامل الشعرات للعدسة العينية والمركز الضوئي للعدسة الشيئية.





شكل (٥-٢٧) محاور الثيودوليت

الثيودوليت الرقمي:

الثيودوليت الرقمي أو الالكتروني هو ثيودوليت عادي تم إضافة شاشة الكترونية له لتظهر عليها الزوايا المرصودة بدلا من قرائنها يدويا في الثيودوليت العادي. يحتاج الثيودوليت الرقمي لبطارية لتشغيله وبعض أنواعه تحتوي علي كارت ذاكرة لتخزين القياسات ثم نقلها مباشرة للحاسب الآلي.



شكل (٥-٢٨) الثيودوليت الرقمي

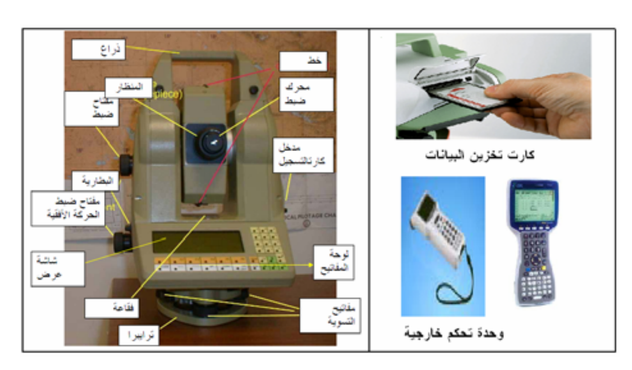
ويتميز الثيودوليت الرقمي بسهولة تشغيله وسرعته في انجاز العمل المساحي إلا أنه أغلي سعرا من الثيودوليت العادي.

٥-٥-٢ جهاز المحطة الشاملة

يعد جهاز المحطة الشاملة أو المحطة المتكاملة Total Station أكثر الأجهزة المساحية استخداما و تكاملا ودقة في الوقت الراهن. يدل اسم الجهاز علي أنه يشمل داخله عدد من الأجهزة و الإمكانيات في إطار متكامل كجهاز واحد.

ويتكون جهاز المحطة الشاملة من مجموعة من الأجهزة (تم جمعها في إطار واحد) تشمل:

١. جهاز ثيودوليت رقمي.
٢. جهاز قياس المسافات الكترونيا EDM.
٣. ذاكرة الكترونية لتسجيل القياسات.
٤. وحدة كمبيوتر micro-processor لتشغيل البرامج الحسابية.
٥. أجهزة ملحقة مثل البطارية ومجموعة العواكس والحامل الثلاثي وكابل التوصيل بالكمبيوتر.



شكل (٥-٢٩) مثال لجهاز المحطة الشاملة

وتتميز أجهزة المحطات الشاملة بالعديد من المميزات و المواصفات مثل:

١. الدقة في قياس الزوايا الأفقية والرأسية (قد تصل إلي ثانية واحدة).
٢. الدقة في قياس المسافات (عدة ملليمترات).
٣. الرصد لمسافات كبيرة (تتعدي كيلومترات).
٤. منظار له قوة تكبير عالية لإمكانية رصد المعالم البعيدة.
٥. تسمح وحدة الكمبيوتر بأداء الحسابات في الموقع والحصول علي الإحداثيات آنيا.
٦. إمكانية قياس المسافات بدون عاكس (بالليزر) لعدة مئات من الأمتار.
٧. سرعة في قياس المسافات الكترونيا (ثانية واحدة أو أقل).
٨. التحقق من أخطاء ضبط أفقية الجهاز وتعديلها (في حالة وجود موازن Compensator بالجهاز) أو تصحيح القياسات حسابيا.
٩. البطارية تمد الجهاز بالطاقة اللازمة لعدة ساعات.
١٠. نظام تشغيل مثل النوافذ windows لسهولة العمل (بعض الأجهزة تدعم اللغة العربية).

١١.ذاكرة تخزين كبيرة لتخزين القياسات بالجهاز (ذاكرة داخلية أو كارت تخزين).

١٢. بعض الأجهزة تسمح بتوصيل وحدة تحكم خارجية control unit أو وحدة تجميع البيانات Data Collector لسهولة العمل.

١٣.سهولة نقل البيانات للكمبيوتر (من خلال كابل أو وحدة بلوتوث).

١٤.القدرة علي تحمل ظروف الطقس المختلفة في الموقع (حتى حرارة تصل ٥٠ درجة مئوية).

١٥.بعض الأجهزة بها كاميرا رقمية داخلية لتصوير مواقع الرصد كنوع من أنواع توثيق بيانات المشروع.

١٦.صغر الحجم و خفة الوزن مما يسهل التنقل بها بين المواقع المختلفة.

٥-٥-٣ جهاز الميزان

الميزان Level هو الجهاز المساحي المستخدم للحصول علي مستوي أفقي وهمي يوازي متوسط منسوب سطح البحر. تتكون أجهزة الميزان بصفة عامة من مجموعتين الميزان البصري والميزان الالكتروني أو الرقمي. تشمل أجهزة الميزان البصري فئتين: (أ) ميزان كوك Cook's Level (القديم غير المستخدم حاليا) والذي كان منظاره مركب علي طوقين أو حلقتين بحيث يمكن فك المنظار وعكس اتجاهه ثم تركيبه علي قاعدته مرة أخري ، (ب) ميزان دمبي Dumby's Level وهو الأحدث والشائع حاليا حيث منظاره غير قابل للعكس.

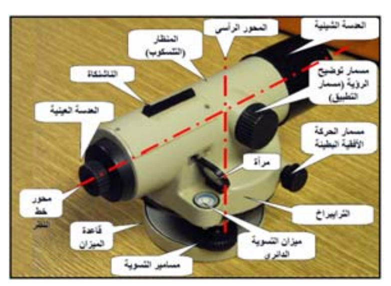


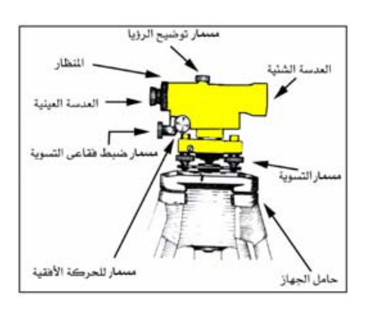
شكل (٥-٣٠) أجهزة ميزان بصري من نوع دمبي

يتكون جهاز الميزان البصري من: المنظار أو التلسكوب ويوجد علي أحد طرفيه العدسة العينية وعلي الطرف الآخر العدسة الشيئية ومثبت أعلاه أداة التوجيه نحو الهدف (الناشنكاه) ومركب علي جانبه مسمار توضيح الرؤية المسمي مسمار التطبيق، علي التربراخ يوجد مسمار الحركة الأفقية البطيئة للميزان بالإضافة لميزان التسوية الدائري وثلاثة مسامير لضبط أفقية الجهاز. ويركب الميزان علي قاعدته التي توضع علي الحامل الثلاثي (الخشبي أو

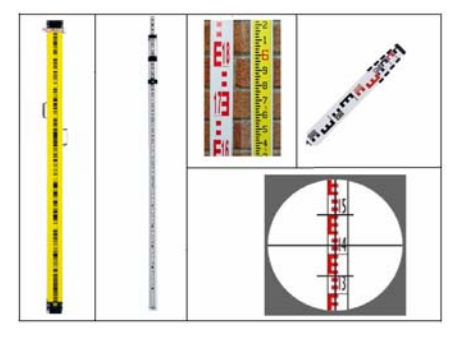
الألمونيوم) عند الرصد. بعض أجهزة الميزان بها مراه أعلي ميزان التسوية الدائري لكي يتمكن الراصد من التحقق من أفقية الجهاز باستمرار. أجهزة الميزان الحديثة يوجد بداخلها ميزان تسوية آخر يمكن رؤيته من داخل العدسة العينية لكي يتم الحصول علي أفقية تامة للجهاز عند كل رصدة. أيضا في بعض أجهزة الميزان يوجد أسفل التربراخ قرص (منقلة أو دائرة أفقية) مدرج لقياس الزوايا الأفقية ، بدقة الدرجة أو كسورها.

وتعد القامة Staff أهم الأدوات المستخدمة مع جهاز الميزان لإجراء أعمال الميزانية (قياس فرق الارتفاع) في الطبيعة. القامة هي مسطرة مدرجة لأمتار وسنتيمترات يتراوح طولها بين ٣ و ٥ أمتار وان كان الطول الشائع للقامة هو ٤ أمتار. تصنع القامة إما من الخشب أو من الألمونيوم و توجد عدة أنواع من القامات فمنها: (أ) القامة المطوية التي تتكون من أكثر من قطعة متصلين و يمكن طيهم و عند الاستعمال تفرد القامة في استقامة واحدة ، (ب) القامة التلسكوبية أو المتداخلة حيث تتكون من ثلاثة (أو أربعة) أجزاء متداخلة تنزلق داخل بعضها وتتميز بصغر طولها عند عدم الاستخدام و ضمان عدم وجود ميل في أي جزء من أجزاء القامة، (ج) القامة المنزلقة وتتكون من جزأين منفصلين أحداهما ينزلق و راء الآخر في مجرى صغير ، (د) القامة ذات القطعة الواحدة والتي غالبا لا يتجاوز طولها المترين حتى يسهل حملها. يتم استخدام قامتين (أو أكثر) مع كل ميزان لإتمام أعمال الميزانية أو التسوية وذلك لسرعة إتمام العمل الحقلي.



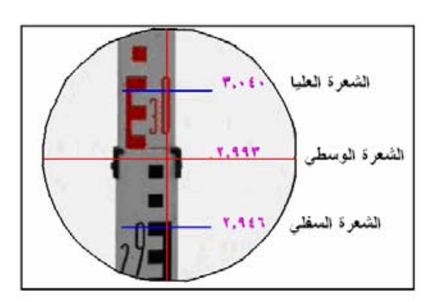


شكل (٥-٣١) مكونات الميزان البصري



شكل (٥-٣٢) القامة

ويوجد بالميزان حامل للشعرات يمكن الراصد من أخذ ٣ قراءات علي القامة: الشعرة الوسطي هي التي تحدد قراءة القامة المستخدمة في حساب فرق المنسوب ، بينما الشعرتين العليا و الوسطي (يطلق عليهم أسم شعرات الاستاديا) يتم استخدامهما في حساب المسافة الأفقية بين القامتين.



شكل (٥-٣٣) القراءات علي القامة

وقد تطورت أجهزة الميزان لتظهر مجموعة أخري منها تسمي الميزان الرقمي أو الالكتروني والذي يتميز بإمكانية تسجيل القراءات في ذاكرة الميزان (بدلا من استعمال دفتر الميزانية) وأيضا وجود لوحة مفاتيح علي الجهاز لتسجيل أية بيانات متعلقة بالمشروع. بعض الأجهزة الالكترونية تستخدم قامة من نوع خاص bar-code staff (ليست قامة مدرجة بالأرقام العادية) بحيث أن الميزان يحدد تقاطع المستوي الأفقي مع هذه القامة بصورة الكترونية ومنها يحس قيمة فرق الارتفاع بين الميزان و القامة. وبالتالي فيزيد سعر الميزان الرقمي عن سعر مثيله العادي. أيضا توجد بعض أنواع الميزان الالكتروني تسمي أجهزة ذاتية الضبط self-levelling حيث يوجد داخل الميزان جهاز موازنة compensator يمكنه الحفاظ علي أفقية الميزان (بعد ضبطه أول مرة) ، فإذا مال الميزان قليلا يقوم جهاز الموازنة بإعادته مرة أخري للوضع الأفقي السليم. يستخدم الميزان ذاتي الضبط في المواقع الإنشائية التي تكثر بها حركة المعدات الثقيلة واهتزازات الأرض مما يؤثر علي أفقية الميزان كثيرا.





شكل (٥-٣٤) أجهزة ميزان بصري رقمي أو الكتروني

يعتمد ميزان الليزر علي مبدأ إطلاق أشعة ليزر في مستوي أفقي حتى تنعكس عند اصطدامها بقامة من نوع خاص وبالتالي يقوم جهاز مستقبل الليزر - الذي يتحرك علي القامة - بتحديد قراءة تدريج هذه النقطة الكترونيا ، ويتم تسجيل القياسات آليا داخل ذاكرة الجهاز. أي أن العمل بميزان الليزر لا يتطلب أي توجيه بصري إلي القامة وبالتالي فأن الراصد يتواجد مع القامة (وليس الميزان). يشيع استخدام أجهزة ميزان الليزر في أعمال التشييد والبناء لكن سعرها أغلي من أجهزة الميزان البصري.



شكل (٥-٣٥) أجهزة ميزان ليزر

أما الميزان الدقيق Precise Level فهو ميزان لا يختلف في شكله أو تصميمه عن الميزان البصري العادي إلا أنه يختلف عنه في النقاط الجوهرية التالية:

- المنظار ذو قوة تكبير عالية (لا تقل عن ٤٠ ضعف) بغرض أن تكون صورة القامة واضحة جدا حتى من مسافات بعيدة.
- أقل وحدة قياس لا تزيد عن ٠.١ ملليمتر و دقة القياس لا تزيد عن ٠.٢ ملليمتر/كيلومتر.
- لا يكون المنظار مثبتا في المحور الرأسي بل يسمح بإمالة خط النظر دون تغيير منسوب هذا الخط.
- يزود الميزان الدقيق بميكرومتر داخلي ذو لوح متوازي Micrometer with parallel plate وهو جهاز يسمح بقراءة القياس علي القامة بدقة ١ ملليمتر أو أقل.
- ميزان التسوية يحتوي فقاعة مائية طويلة من نوع لا يتغير طولها باختلاف درجات الحرارة ، وأن يكون ذو حساسية عالية.
- تكون معظم الموازين الدقيقة من النوع ذاتي الضبط Self-Levelling.



شكل (٥-٣٦) ميزان دقيق

الفصل السادس

النظم العالمية لتحديد المواقع

٦-١ مقدمة

تتعدد النظم العالمية لتحديد المواقع Global Navigation Positioning Systems - أو اختصارا GNSS - المستخدمة في الوقت الراهن لتشمل تقنية الجي بي أس GPS الأمريكية و تقنية الجلوناس GLONASS الروسية، بالإضافة لقرب تشغيل تقنية جاليليو Galileo الأوروبية وتقنية بيدو Beidou الصينية. وتعتمد كل هذه التقنيات علي استخدام الأقمار الصناعية لتحديد موقع (إحداثيات) أي هدف علي سطح الأرض سواء كان ثابتا أو متحركا.

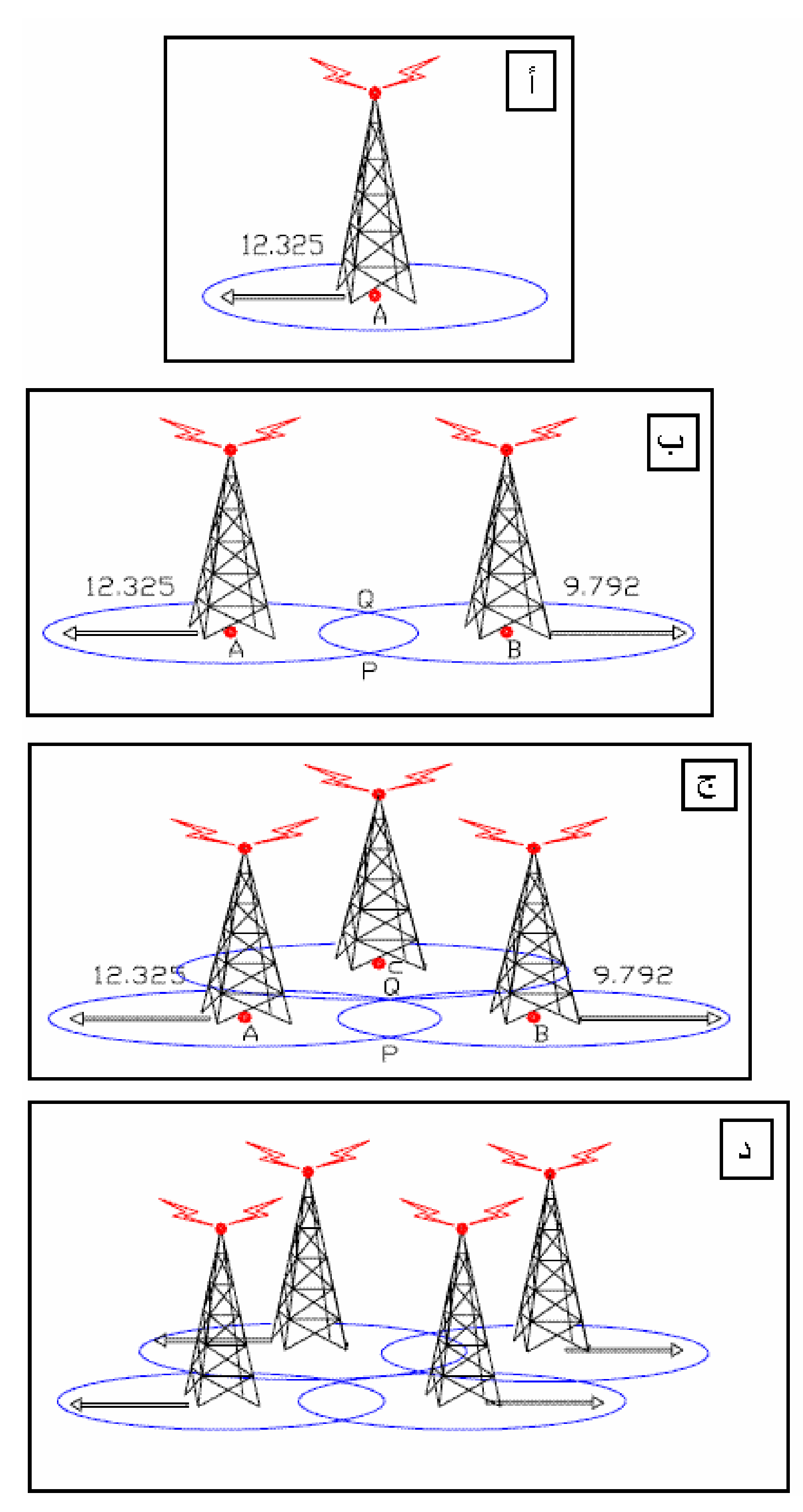
٦-٢ نبذة تاريخية

مع بداية النصف الثاني من القرن العشرين الميلادي دخلت المعرفة البشرية منعطفا تقنيا جديدا حيث أستطاع الإنسان أن يرسل أجساما معدنية إلي خارج نطاق الغلاف الجوي لكوكب الأرض، وهي الأجسام التي أصطلح علي تسميتها بالأقمار الصناعية Satellites. يعد إطلاق القمر الصناعي الروسي الأول "سبوتنيك-١ Sputbik-1" في ٤ أكتوبر ١٩٥٧ (١٣٧٧ هـ) هو إعلان دخول الإنسان لعصر الأقمار الصناعية. هذا و قد بدأ إطلاق الأقمار الصناعية و غزو الفضاء – بصفة عامة – بعد أن تطورت عدة تقنيات و خاصة الصواريخ و الرادار ، فالصاروخ هو الوسيلة لإيصال القمر الصناعي إلي الفضاء (كان أول صاروخ يطلق للفضاء بواسطة فريق علماء ألمان بقيادة براون في عام ١٩٣٤) و الرادار مهم لتعقب القمر و معرفة موقعه ، كما ساهم التطور في الحاسبات الآلية و أنظمة الاتصالات في الإسراع بالدخول إلي عصر الفضاء.

وقبل بدء عصر الأقمار الصناعية توصل العلماء إلي طريقة جديدة لتحديد المواقع بالاعتماد علي الموجات الراديوية أو الكهرومغناطيسية ، وكان المبدأ الأساسي في هذه الطريقة هو قياس الزمن الذي تستغرقه الموجه الراديوية في الرحلة ذهابا و عودة بين محطة البث أو الإرسال Transmitting Station وجهاز الاستقبال Receiver. فإذا استخدمنا القاعدة العلمية المعروفة:

المسافة = السرعة × الزمن

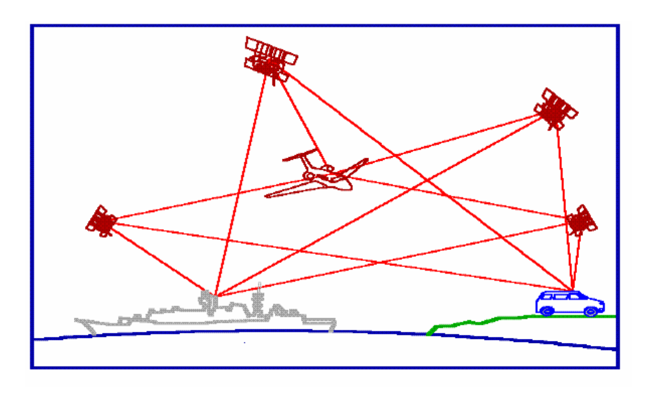
وباعتبار أن سرعة الموجة تعادل سرعة الضوء (حوالي ٣٠٠ ألف كيلومتر في الثانية) فيمكننا حساب المسافة بين محطة الإرسال و جهاز المستقبل. لكن يتبادر إلي الأذهان السؤال التالي: كيف يمكن لهذه الفكرة - أو هذه المسافة التي يمكن حسابها – أن تستخدم في تحديد موقع شخص معين؟ الإجابة سهلة و تتكون من (شكل٦-١): نفترض أن برج إرسال قد تم وضعه فوق نقطة معلومة الموقع ولتكن نقطة A علي سطح الأرض ، ونحن لدينا وحدة أو جهاز استقبال لهذه الموجات الراديوية في موقع ما غير معلوم. عند فتح جهاز الاستقبال وقياس (أو حساب) المسافة بين هذا الموقع المجهول و المحطة أو البرج عند A وجدنا أنها تساوي ١٢.٣٢٥ متر مثلا. إن هذه المعلومة (شكل ٦-١ أ) لا تخبرنا أين موقعنا بالضبط ولكنها تقرب موقعنا إلي أي نقطة علي محيط الدائرة التي نصف قطرها يساوي ١٢.٣٢٥ متر حول برج الإرسال A (وهو البرج المعلوم موقعه مسبقا). الآن نفترض أننا قمنا بتثبيت برج إرسال ثاني فوق نقطة معلومة أيضا ولتكن B علي سطح الأرض ، و بنفس الطريقة قمنا بحساب (أو قياس) المسافة بواسطة جهاز استقبال الموجات الراديوية فكانت تساوي ٩.٧٩٢ متر.هذه المعلومة الجديدة تخبرنا أيضا أننا نقع علي محيط دائرة مركزها نقطة B ونصف قطرها يساوي ٧.٧٩٢ متر. أي أننا موجودين علي بعد ١٢.٣٢٥ متر من نقطة A وأيضا علي بعد ٩.٧٩٢ متر من نقطة B. وهذا يؤدي بنا أننا نقع عند تقاطع هاتين الدائرتين ، أما عند نقطة P أو عند نقطة Q (شكل ٦-١ ب). أي أننا نستخلص أن وجود برجين إرسال يمكننا من تحديد احتمال موقع من موقعين ، ولا يخبرنا بالضبط أين نحن. نحتاج الآن لبرج إرسال ثالث يتم وضعه عند نقطة معلومة و لتكن C علي سطح الأرض ، و بنفس الطريقة نقوم بحساب (أو قياس) المسافة بواسطة جهاز استقبال الموجات الراديوية. هذه المسافة الثالثة ستخبرنا بكل تأكيد هل نحن عند النقطة P أو عند النقطة Q (شكل ٦-١ ج). فإذا كانت الأبراج أو محطات الإرسال الثلاثة تعمل باستمرار وفي نفس الوقت ، فأن أي جهاز استقبال لهذه الموجات الراديوية سيستقبل الإشارات المرسلة من المحطات الثلاثة و يمكنه بسرعة تحديد موقعه في هذه اللحظة. فإذا كان جهاز الاستقبال هذا متحركا (أي موجود علي سفينة مثلا) فأنه باستطاعته تحديد موقعه باستمرار عند كل لحظة في مسيرته. فإذا أضفنا برج إرسال رابع فأن هذه المنظومة ستكون ذات كفاءة عالية لان البرج الرابع سيكون حكما للوثوق في إشارات الأبراج الثلاثة الأساسية كما أنه سيكون احتياطيا في حالة عدم استقبال الإشارات من أيا من الأبراج الثلاثة (شكل ٦-١ د). وتسمي هذه الطريقة لتحديد المواقع بنظم الملاحة الراديوية Radio Navigation Systems.



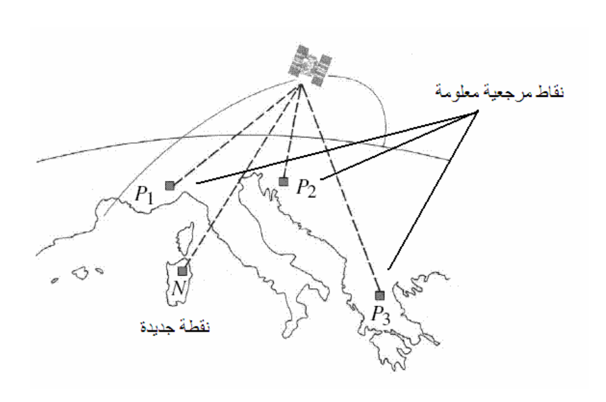
شكل (٦-١) الملاحة الراديوية و تحديد المواقع

ومن أمثلة هذه النظم الراديوية لتحديد المواقع نظام لوران LORAN وهو اختصارا لاسم "الملاحة للمساحات الشاسعة LOng RAnge Navigation" والذي بدأ في الولايات المتحدة الأمريكية تقريبا في عام ١٩٥٠ ويهدف أساسا لمساعدة السفن في إبحارها. تكون نظام لوران من عدد من السلاسل (السلسلة مكونة من ٤ أبراج إرسال تغطي كل محطة أو برج حوالي ٥٠٠ ميل) ليمكن تغطية الساحل الغربي الأمريكي كله. لكن هذه النظم الملاحية كان لها بعض العيوب أو المعوقات مثل: (١) أي نظام سيكون ذو تغطية محدودة تبلغ حوالي ٥% من سطح الأرض وبالتالي فلن يصلح ليكون نظام ملاحة عالمي ، (٢) يستطيع هذا النظام تحديد المواقع في اتجاهين فقط – أي الموقع الأفقي – لكنه لا يمكنه تحديد الارتفاع في الاتجاه الرأسي، (٣) دقة النظام كانت في حدود ٢٥٠ متر والتي قد يمكن اعتبارها مناسبة للملاحة البحرية لكنها غير مناسبة للملاحة الجوية – للطائرات – أو لطرق المساحة الأرضية التي تتطلب دقة أعلي في تحديد المواقع.

ومع ظهور الأقمار الصناعية طبق العلماء نفس مبدأ الملاحة الراديوية في تطوير ما عرف باسم الملاحة بالأقمار الصناعية Satellite Navigation. فإذا استبدلنا محطات الإرسال الأرضية بأقمار صناعية ترسل موجات راديوية يستطيع جهاز الاستقبال أن يتعامل معها ويحسب المسافة من موقعه إلي موقع كل قمر صناعي فيمكن تحديد الموقع الذي به هذا المستقبل. ربما يتبادر إلي الأذهان الآن سؤال: أبراج الإرسال كانت ثابتة و معلومة الموقع وكنا نستخدمها كعلامات مرجعية Reference Points تمكننا من حساب موقع جهاز الاستقبال ، لكن الأقمار الصناعية غير ثابتة فكيف سيمكن التعامل معها؟ الإجابة هي أن كل قمر صناعي يكون معلوم المدار الذي يدور عليه في الفضاء وتكون من أهم مهام الجهة المسئولة عن نظام الأقمار الصناعية أن تراقب كل قمر و تحدد موقعه بكل دقة في كل لحظة ، وبالتالي فيمكننا القول أن موقع كل قمر صناعي يكون معلوما في أي لحظة طوال ٢٤ ساعة يوميا ، أي أن كل قمر صناعي سيكون بمثابة نقطة مرجعية (شكل٦-٢). وطبقا لهذا المبدأ الأساسي فيمكن اعتبار القمر الصناعي – من وجهة النظر المساحية – علي أنه هدف Target عالي الارتفاع ، بحيث إذا أمكن رصده من ثلاثة نقاط أرضية معلومة الإحداثيات فيمكن تحديد موقع نقطة مجهولة ترصد هذا القمر الصناعي في نفس اللحظة (شكل٦-٣).



شكل (٦-٢) الملاحة بالأقمار الصناعية



شكل (٦-٣) المبدأ المساحي للملاحة بالأقمار الصناعية

وقد تطورت نظم الملاحة بالأقمار الصناعية مع إطلاق نظام الملاحة الأمريكي Navy Navigation Satellite System الذي عرف باسم ترانزيت Transit وأيضا باسم نظام دوبلر Doppler - في الستينات من القرن العشرين الميلادي، وكان الهدف الرئيسي منه تحديد مواقع القطع البحرية في البحار و المحيطات والمعرفة الدقيقة لإحداثيات المواقع الإستراتيجية. وبالرغم من هذه الأهداف العسكرية إلا أن المهندسين المدنيين قد استخدموا هذا النظام في العديد من التطبيقات المساحية وخاصة إنشاء شبكات الثوابت الأرضية الدقيقة. أعتمد نظام الدوبلر علي عدد من الأقمار الصناعية التي تدور علي ارتفاع حوالي ١٠٠٠ كيلومتر من سطح الأرض حيث يكمل كل قمر دورة كاملة حول الأرض في مدة تبلغ ١٠٧ دقيقة وكانت دقة تحديد المواقع الأرضية اعتمادا علي هذا النظام في حدود ٣٠-٤٠ متر. ومع أن أقمار الدوبلر تغطي معظم أنحاء الأرض إلا أن عددها (٦ أقمار صناعية فقط) لم يكن يسمح بتواصل الإشارات طوال ٢٤ ساعة يوميا – بل لعدة ساعات طبقا للموقع المطلوب علي الأرض – مما لم يلبي حاجة مستخدمي النظام سواء العسكريين أو المدنيين وأدي ذلك إلي بدء وزارة الدفاع الأمريكية - مع بداية السبعينات - في تطوير نظام ملاحي آخر.

جيوديسيا الأقمار الصناعية:

مع إطلاق أول قمر صناعي في عام ١٩٥٧ بدأ ظهور مصطلح لفرع جديد من علم الجيوديسيا (علم القياس علي سطح الأرض لتحديد شكلها و حجمها ومجال جاذبيتها) وهو جيوديسيا الأقمار الصناعية Satellite Geodesy. إلا أن أساسيات هذا التخصص الهندسي الجديد ترجع جذورها إلي ما هو أبعد من هذا التاريخ ، فمنذ بداية القرن التاسع عشر الميلادي كانت هناك دراسات عديدة لاستخدام القمر – الطبيعي و ليس الصناعي – في حساب بعض القيم الهندسية التي تصف شكل الأرض. فعلي سبيل المثال قام العالم الفرنسي لابلاس Laplace في عام ١٨٠٢ بحساب قيمة تفلطح سطح الأرض Earth Flattening اعتمادا علي دراسة حركة القمر. وطوال قرن و نصف توالت الدراسات الجيوديسية لتقيم أسسا علمية جيوديسية انطلقت تطبيقاتها سريعا بمجرد إطلاق أول قمر صناعي ، ويكفي أن نشير إلي أن بعد مرور عام واحد فقط من إطلاق أول قمر صناعي تمكن الجيوديسين في عام ١٩٥٨ من حساب قيمة أكثر دقة لتفلطح الأرض اعتمادا علي قياسات هذا القمر الصناعي. وتتعدد تطبيقات تخصص جيوديسيا الأقمار الصناعية لتشمل العديد من المجالات العلمية المدنية منها:

<u>الجيوديسيا العالمية:</u>

- تحديد شكل و مجال جاذبية الأرض.
- تحديد أقرب النماذج الرياضية لشكل الأرض الحقيقي.
- إنشاء نظام جيوديسي أرضي مرجعي Global terrestrial reference frame.
- تطوير نماذج الجيويد الدقيقة (أنظر تعريف الجيويد في الفصل القادم).
- الربط بين العديد من المراجع الجيوديسية المستخدمة حول العالم.

<u>الثوابت الجيوديسية:</u>

- إنشاء نقاط شبكات جيوديسية مرجعية.
- إنشاء شبكات جيوديسية ثلاثية الأبعاد.
- الربط بين العديد من الشبكات الجيوديسية المتباعدة.
- دراسة حركة القشرة الأرضية.

<u>المساحة المستوية و التطبيقية:</u>

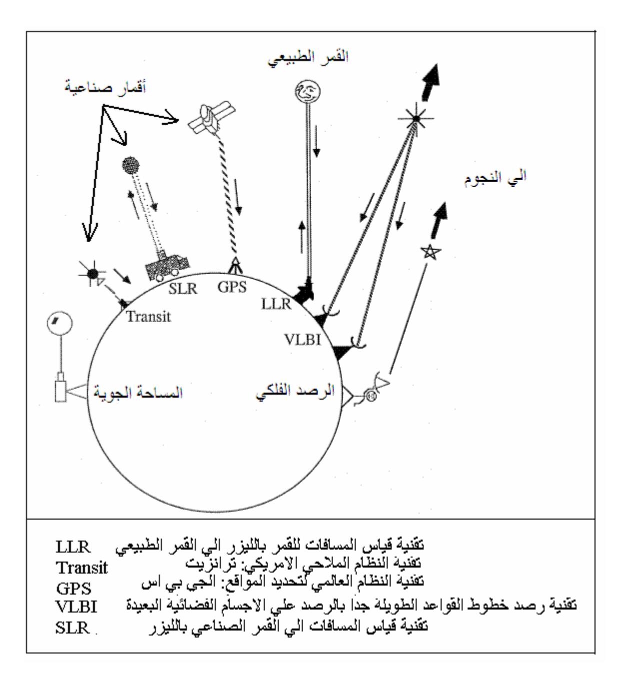
- إجراء المسح التفصيلي للظواهر الطبيعية و البشرية لتطبيقات حصر الملكيات و تخطيط المدن و إقامة المشروعات المدنية وتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية Geographic Information Systems (GIS).
- إقامة ثوابت أرضية لعمليات التصوير الجوي وضبط مرئيات الاستشعار عن بعد.

- إدارة الموارد الطبيعية بصفة عامة و الموارد المائية بصفة خاصة.
- الرفع الطبوغرافي و إنشاء الخرائط الكنتورية لمشروعات التنمية الوطنية.
- تحديد إحداثيات أجهزة التصوير داخل الطائرات.

<u>الملاحة الجيوديسية:</u>

- زيادة دقة الملاحة سواء البرية أو البحرية أو الجوية.
- تحديد المواقع بدقة لتطبيقات الخرائط البحرية و استكشاف الموارد الطبيعية والمساحة البحرية والجيولوجيا.
- ضبط العلاقات بين محطات قياس المد و الجزر Tide gauges (توحيد نظم قياس الارتفاعات).
- تحديد مواقع القياسات الجيوفيزيقية (مثل مواقع قياس الجاذبية الأرضية والمسح المغناطيسي) سواء علي البر أو في البحر.
- تحديد اتجاه و معدل حركة الكتل الجليدية عند كلا القطبين.
- تحديد مدارات الأقمار الصناعية ذاتها بمختلف أنواعها.

كما تجب الإشارة لوجود عدد كبير من تقنيات تحديد المواقع الحديثة سواء تلك التي تعتمد علي رصد القمر الطبيعي أو الأقمار الصناعية أو رصد النجوم (شكل٦-٤).



شكل (٦-٤) تقنيات تحديد المواقع

٦-٣ النظام العالمي لتحديد المواقع

مع بداية الستينات من القرن العشرين الميلادي اهتمت عدة جهات حكومية في الولايات المتحدة الأمريكية (مثل وزارة الدفاع DoD و وزارة النقل DoT وهيئة الطيران الفضاء ناسا NASA) بتطوير نظام ملاحي يعتمد علي رصد الأقمار الصناعية. وتم إطلاق نظام ترنزيت Transit في عام ١٩٦٤، إلا أنه سرعان ما لم يلبي حاجات القطاعين العسكري و المدني وخاصة في عنصري الدقة و الاتاحية وبدأ التفكير إما في تطوير هذا النظام أو البحث عن بديل جديد له. بدأت عدة جهات علمية و حكومية اقتراح نظم جديدة و في عام ١٩٦٩ قامت وزارة الدفاع بإنشاء برنامج جديد تحت اسم البرنامج العسكري للملاحة بالأقمار الصناعية DNSS لتوحيد الجهود وراء إطلاق نظام ملاحي جديد. وبالفعل تم اقتراح تقنية جديدة تحت اسم "النظام العالمي الملاحي لتحديد المواقع بقياس المسافة و الزمن باستخدام الأقمار الصناعية NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System" أو اختصارا باسم NAVSRAT GPS ، إلا أنه عرف علي نطاق واسع – بعد ذلك – باسم النظام العالمي لتحديد المواقع أو اختصارا "جي بي أس GPS". تم إطلاق أول قمر صناعي في هذا النظام في ٢٢ فبراير ١٩٧٨ وفي ٨ ديسمبر ١٩٩٣ (١٤١٤ هـ) تم إعلان اكتمال النظام مبدئيا (Initial Operational Capability (IOC ، أما الإعلان النهائي لاكتمال النظام رسميا (Fully Operational Capability (FOC فقد كان في ٢٧ أبريل ١٩٩٥. وفي بدايته كان الجي بي أس مقصورا علي الاستخدامات العسكرية للقوات المسلحة الأمريكية وحلفاؤها حتى أعلن الرئيس الأمريكي ريجان في عام ١٩٨٤ السماح للمدنيين باستخدامه (لكن ليس جميع مميزاته أو مستوي الدقة العالية في تحديد المواقع !) ، وكان ذلك بعد حادثة إسقاط القوات المسلحة الروسية لطائرة ركاب كورية مدنية بعد دخولها بالخطأ في المجال الجوي الروسي. ويدار الجي بي أس من خلال وزارة الدفاع الأمريكية وهي الجهة المسئولة عن إطلاق الأقمار الصناعية و مراقبتها و التأكد من كفاءة تشغيلها واستبدالها كل فترة زمنية بحيث تكون إشارات هذه التقنية متاحة ٢٤ ساعة يوميا وعلي مدار كل الأيام لجميع المستخدمين علي سطح الأرض. وفي عام ١٩٩٦ تم تكوين لجنة عليا تضم عدد من الوزارات الأمريكية لكي تشرف علي نظام الجي بي أس و تضع السياسات المستقبلية اللازمة ، وسميت باللجنة التنفيذية مابين الوزارات Inter-Agency GPS Executive Board أو اختصارا IGEB (الروابط علي شبكة الانترنت في: http://www.igeb.gov/charter.shtml).

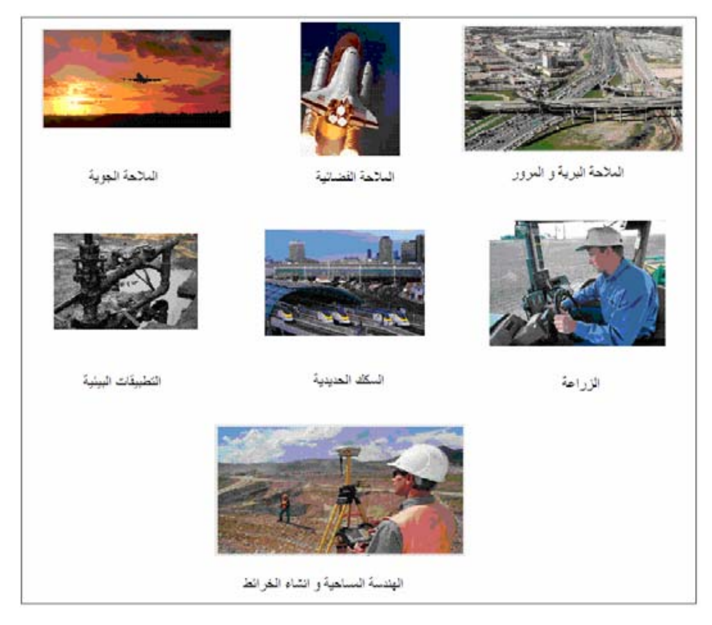
تشتمل تقنية الجي بي أس علي العديد من المميزات التي ساعدت علي انتشارها بصورة لم يسبق لها مثيل ومنها:

- متاح طوال ٢٤ ساعة يوميا ليلا و نهارا وعلي مدار العام كله.
- يغطي جميع أنحاء الأرض.
- لا يتأثر بأية ظروف مناخية مثل درجات الحرارة و المطر و الرطوبة والرعد و الرق و العواصف.
- الدقة العالية في تحديد المواقع لدرجة تصل إلي ملليمترات في بعض التطبيقات و طرق الرصد الجيوديسية أو دقة أمتار قليلة (٥.٢ متر في المتوسط) للتطبيقات الملاحية.
- الوفرة الاقتصادية بحيث أن تكلفة استخدام الجي بي أس تقل بنسبة أكبر من ٢٥% بالمقارنة بأي نظام ملاحي أرضي أو فضائي آخر.
- لا يحتاج لخبرة تقنية متخصصة لتشغيل أجهزة الاستقبال (وخاصة المحمولة يدويا) لدرجة أن بعض مستقبلات الجي بي أس أصبحت تدمج في الساعات اليدوية و أجهزة الاتصال التليفوني.

وتتعدد التطبيقات المدنية لتقنية الجي بي أس بصورة كبيرة في مجالات متعددة مثل (شكل٦-٥): الملاحة البرية وتحديد مواقع المركبات المتحركة في الشوارع بغرض زيادة كفاءة النقل البري ، الملاحة الفضائية و تحديد مواقع المركبات الفضائية الخارجية ، الملاحة الجوية وتحديد مواقع الطائرات أثناء الهبوط و الإقلاع و طوال مسار الرحلات الجوية ، الزراعة ورسم خرائط التربة وإرشاد الجرارات الزراعية أثناء عملها ، الملاحة البحرية وتحديد مواقع السفن طوال مسار الرحلة ، السكك الحديدية والتحديد الدقيق لمواقع القطارات بهدف تحسين مستوي السلامة والأمان و كفاءة التشغيل ، التطبيقات البيئية مثل تحديد مواقع محطات قياس المد و الجزر وربط بياناتها علي المستوي العالمي بغرض مراقبة ظاهرة ارتفاع منسوب سطح البحر وكذلك مراقبة حركة التسربات من حاملات البترول و مراقبة و رسم خرائط لمناطق حرائق الغابات ، السلامة العامة و الغوث من الكوارث الطبيعية وخاصة في استخدامات فرق البحث و الإنقاذ للمناطق التي تعرضت لمثل هذه الكوارث وأيضا الاستجابة السريعة لحالات الطوارئ ، تطبيقات قياس و تزامن الوقت مثل دمج بيانات محطات رصد مواقع الزلازل وكذلك ضبط تزامن أجهزة الكمبيوتر للبنوك العالمية متعددة الفروع وأيضا لشركات توزيع الكهرباء ، بالإضافة لمجال الهندسة المساحية و إنشاء الخرائط.

وقد تعددت التطبيقات المساحية لتقنية الجي بي أس بصورة كبيرة في السنوات الماضية وتشمل بعضها:

- إنشاء الشبكات الجيوديسية للثوابت الأرضية الدقيقة وتكثيف الشبكات القديمة منها (عن طريق إضافة محطات جديدة لها).
- رصد تحركات القشرة الأرضية.
- رصد إزاحة أو هبوط المنشئات الحيوية كالكباري و الجسور و السدود و القناطر.
- أعمال الرفع المساحي التفصيلي و الطبوغرافي.
- إنتاج خرائط طبوغرافية و تفصيلية دقيقة و في صورة رقمية.
- تحديد المواقع لعلامات الضبط الأرضي للصور الجوية Aerial Photogrammetry و المرئيات الفضائية لنظم الاستشعار عن بعد Remote Sensing.
- تطبيقات المساحة التصويرية الأرضية Close-Range Photogrammetry.
- تطوير نماذج الجيويد الوطنية بالتكامل مع أسلوب الميزانية الأرضية.
- تجميع البيانات المكانية عند استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية Geographic Information Systems أو GIS ، وخاصة لتطبيقات تحديد مواقع الخدمات المدنية Location-Based Services وتطبيقات النقل الذكي Intelligent Transportation وأيضا تطبيقات نظم معلومات الأراضي Land Information Systems أو LIS.
- الربط بين المراجع الجيوديسية المختلفة للدول في حالات المشروعات الحدودية المشتركة.
- نظم الخرائط المحمولة Mobile Mapping Systems أو MMS.
- الرفع الهيدروجرافي و تطوير الخرائط البحرية و النهرية.
- تثبيت و توثيق مواقع العلامات الحدودية بين الدول.
- بدمج تقنيتي الجي بي أس و نظم المعلومات الجغرافية أمكن إنتاج خرائط رقمية و قواعد بيانات محمولة يدويا للمدن بكافة تفاصيلها و خدماتها.

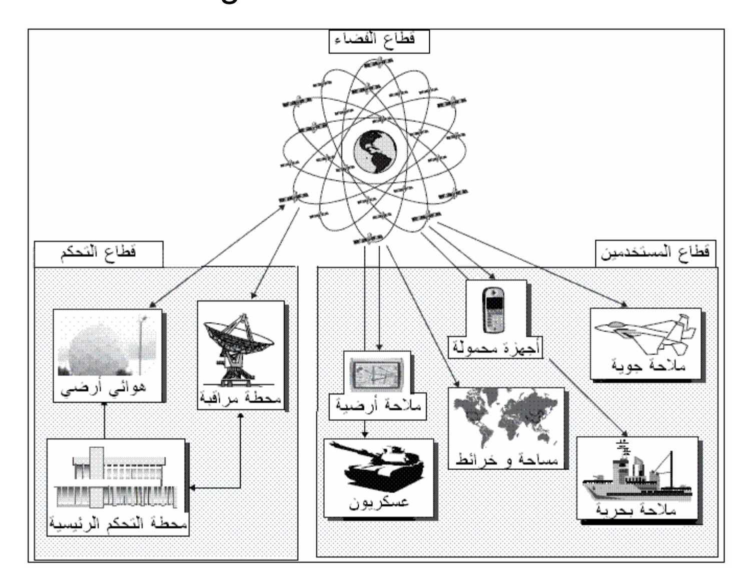


شكل (٦-٥) بعض مجالات تطبيقات الجي بي أس

٦-٣-١ مكونات نظام الجي بي أس:

يتكون نظام الجي بي أس من ثلاثة أجزاء أو أقسام (شكل٦-٦) هي:

- قسم الفضاء ويحتوي الأقمار الصناعية Space Segment.
- قسم التحكم و السيطرة Control Segment.
- قسم المستقبلات الأرضية أو المستخدمون User Segment.

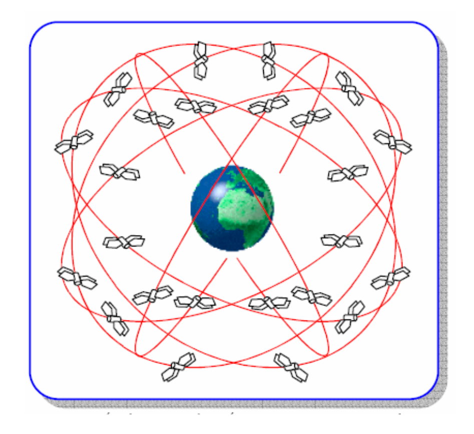


شكل (٦-٦) أقسام الجي بي أس

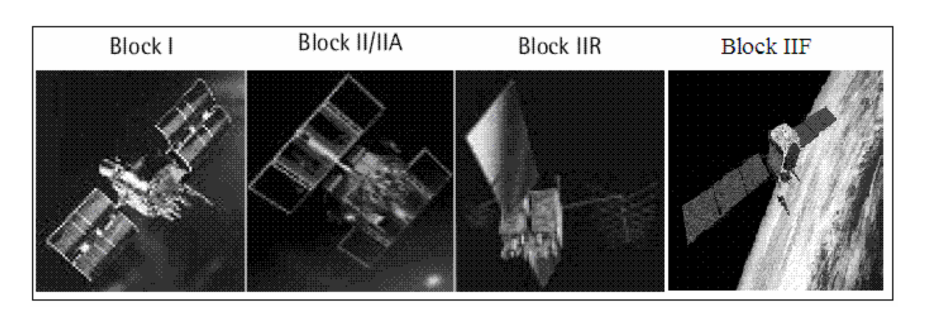
قسم الفضاء أو الأقمار الصناعية:

يتكون قسم الفضاء - اسميا - من ٢٤ قمرا صناعيا (٢١ قمر عامل + ٣ أقمار احتياطية spare موجدة في الفضاء) موزعة في ٦ مدارات بحيث يكون هناك ٤ أقمار صناعية في كل مدار مما يسمح بالتغطية الدائمة (أي وجود علي الأقل ٤ أقمار صناعية) لكل موقع علي سطح الأرض في أي لحظة طوال اليوم (شكل٦-٧). وقد يصل عدد الأقمار الصناعية في وقت معين إلي ما هو أكثر من ٢٤ قمرا طبقا لخطة إطلاق الأقمار الصناعية. وتدور الأقمار الصناعية في مدارات شبه دائرية علي ارتفاع حوالي ٢٠٢٠٠ كيلومتر من سطح الأرض ليكمل كل قمر صناعي دورة كاملة حول الأرض في مدة ١١ ساعة و ٥٦ دقيقة بالتوقيت الزمني الأرضي العالمي GMT. ويتراوح وزن القمر الصناعي بين ٤٠٠ و ٨٥٠ كيلوجرام ويبلغ عمره الافتراضي (للأجيال الحديثة من الأقمار الصناعية) حوالي سبعة سنوات و نصف، ويستمد طاقته من خلال صفيحتين لالتقاط الطاقة الشمسية بالإضافة لوجود ثلاثة بطاريات احتياطية من النيكل تزوده بالطاقة عندما يمر بمنطقة ظل الأرض. ويقوم كل قمر صناعي بتوليد موجتين علي ترددين مختلفين Frequency يسموا L1 و L2 بالإضافة لشفرتين Codes و رسالة ملاحية Navigation Message يتم بثهم علي هذين الترددين. كما يحتوي كل قمر علي عدد من الساعة الذرية Atomic Watch سواء من نوع السيزيوم cesium أو الرابيديوم rubidium.

تغيرت مواصفات و كفاءة الأقمار الصناعية في نظام الجي بي أس علي مر السنوات بحيث يمكن تقسيم الأقمار إلي عدد من الأجيال (شكل٦-٨). بدأت أقمار الجيل الأول – يسمي Block I – وعددهم ١١ قمرا مع بداية تقنية الجي بي أس منذ إطلاق القمر الأول في ٢٢ فبراير ١٩٧٨ وكان آخر أقمار هذا الجيل الذي أطلق في ٩ أكتوبر ١٩٨٥. وكان ميل مدار أقمار الجيل الأول ٦٣° علي مستوي دائرة الاستواء والعمر الافتراضي المصمم للقمر الواحد هو أربعة سنوات و نصف (إلا أن بعضهم بقي يعمل بكفاءة لحوالي عشرة سنوات). وكان الجيل الثاني من الأقمار الصناعية Block II/IIA أكثر كفاءة من سابقه وتكون من ٢٨ قمرا صناعيا تم إطلاقها في الفترة بين فبراير ١٩٨٩ و نوفمبر ١٩٩٧ بحيث يبلغ ميل مدار القمر الصناعي ٥٥° علي دائرة الاستواء ، و زاد العمر الافتراضي للقمر الواحد إلي سبعة سنوات و نصف. ثم تعددت الأجيال الفرعية من الجيل الثاني لتصبح هناك أقمار IIR (٢١ قمر بعمر افتراضي يبلغ عشرة سنوات) وأقمار IIR-M وأقمار IIF (بعمر افتراضي يصل إلي خمسة عشر عاما) ، كما بدأ العمل في تصميم أقمار الجيل الثالث من الأقمار الصناعية Block III.



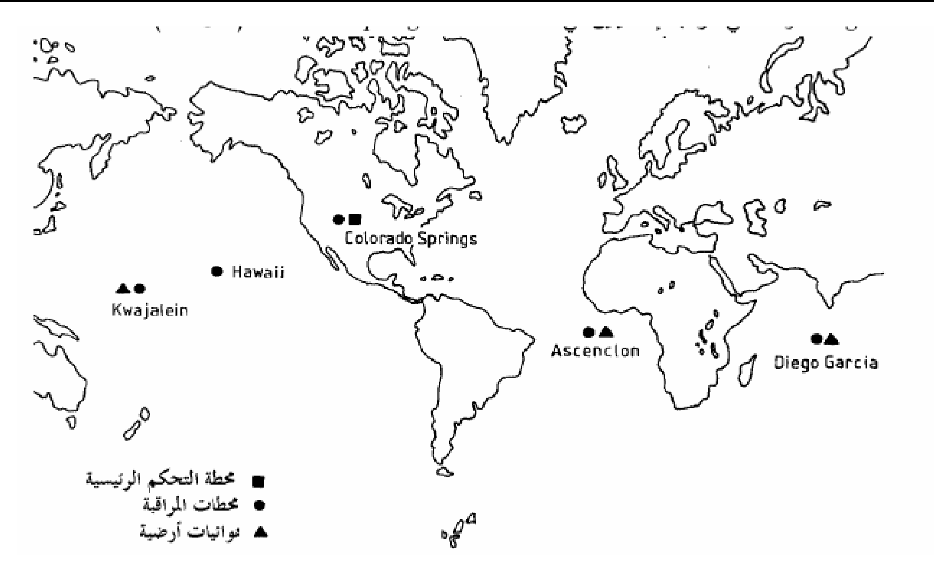
شكل (٦-٧) قطاع الفضاء في تقنية الجي بي أس



شكل (٦-٨) نماذج للأقمار الصناعية في نظام الجي بي أس

قسم التحكم و المراقبة:

يتكون قسم التحكم و المراقبة من محطة التحكم الرئيسية في ولاية كلورادو الأمريكية وأربعة محطات مراقبة في عدة مواقع حول العالم (شكل٦-٩). تستقبل محطات المراقبة كل إشارات الأقمار الصناعية وتحسب منها المسافات لكل الأقمار المرصودة وترسل هذه المعطيات بالإضافة لقياسات الأحوال الجوية إلي محطة التحكم الرئيسية والتي تستخدم هذه البيانات في حساب المواقع اللاحقة للأقمار وسلوك (تصحيحات) ساعاتها وبالتالي تكون الرسالة الملاحية لكل قمر صناعي. تقوم محطة التحكم الرئيسية بعمل التصحيحات اللازمة لمدارات الأقمار الصناعية وكذلك تصحيح ساعات الأقمار ، ثم تقوم بإرسال هذه المعلومات للأقمار الصناعية (مرة كل ٢٤ ساعة) والتي تقوم بتعديل مساراتها و أزمانها وبعد ذلك ترسل هذه البيانات المصححة كإشارات إلي أجهزة الاستقبال الأرضية.



شكل (٦-٩) قسم التحكم و السيطرة

قسم المستقبلات الأرضية:

يضم هذا القطاع أجهزة استقبال الجي بي أس (مستخدمو النظام) التي تستقبل إشارات الأقمار الصناعية وتقوم بحساب موقع – إحداثيات – المكان الموجود به المستقبل سواء علي الأرض أو في الجو أو في البحر ، بالإضافة لسرعة واتجاه حركة المستقبل إن كان متحركا أثناء فترة الرصد. وبصفة عامة فيتكون جهاز الاستقبال من: هوائي مع مضخم إشارة ، وحدة تردد راديوي أو لاقط الإشارات، مولد ترددات ، وحدة تأمين الطاقة الكهربائية ، وحدة التحكم للمستخدم ، بالإضافة إلي وحدة ذاكرة لتخزين القياسات.

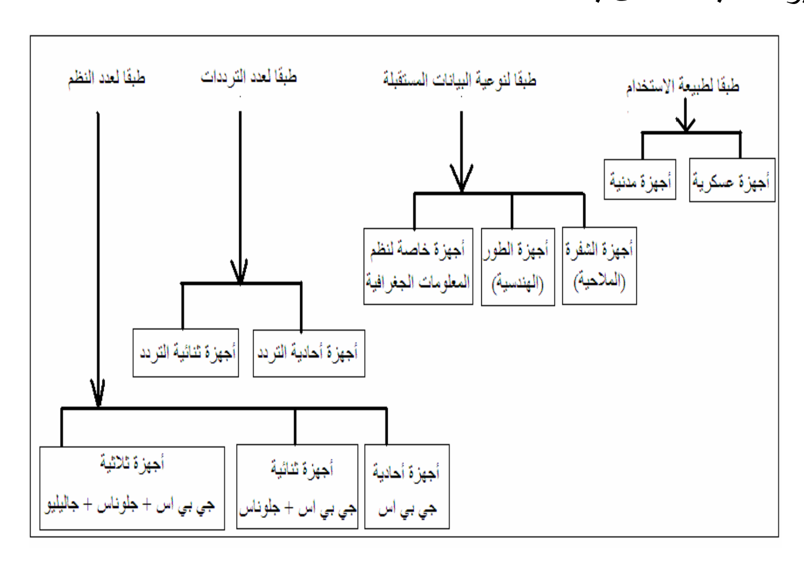
تتعدد أنواع أجهزة الاستقبال بصورة كبيرة جدا طبقا لعدد من العوامل منها:

أ- طبقا لطبيعة الاستخدام: توجد أجهزة استقبال عسكرية (تستطيع التعامل مع الشفرة العسكرية التي تبثها الأقمار الصناعية وتفك شفرتها للحصول علي دقة عالية جدا في حساب المواقع) وأجهزة استقبال مدنية.

ب- طبقا لنوعية البيانات المستقبلة: توجد مستقبلات تسمي بأجهزة الشفرة Code ومشهورة أيضا باسم الأجهزة الملاحية Navigation Receivers أو الأجهزة المحمولة يدويا Hand-Held Receivers ، وتوجد أجهزة تسمي بأجهزة قياس الطور Phase ومعروفة أيضا باسم الأجهزة الهندسية أو الجيوديسية Geodetic Receivers ، وظهرت حديثا الفئة الثالثة من الأجهزة والتي أطلق عليها أجهزة تجميع البيانات لنظم المعلومات الجغرافية GIS-Specific Receivers.

ج- <u>طبقا لعدد الترددات:</u> توجد أجهزة تستقبل تردد واحد من الترددين الذين تبثهما الأقمار الصناعية وتسمى أجهزة أحادية التردد Single-Frequency Receivers أو أجهزة التردد الأول L1-Receivers ، وأجهزة ثنائية التردد Dual-Frequency Receivers التي تستطيع استقبال كلا ترددي الجي بي أس L1 and L2 (وهي أغلي قليلا من الأجهزة أحادية التردد).

د- <u>طبقا لعدد النظم:</u> هناك أجهزة تتعامل فقط مع إشارات نظام الجي بي أس ، وأجهزة ثنائية النظام تستقبل الإشارات من كلا من الجي بي أس و النظام الملاحي الروسي جلوناس، وأجهزة ثلاثية النظم حيث يمكنها أيضا استقبال إشارات النظام الملاحي الأوروبي جاليليو عند بدء العمل به،



شكل (٦-١٠) أنواع أجهزة استقبال الجي بي أس



شكل (٦-١١) بعض أجهزة استقبال الجي بي أس

٦-٣-٢ فكرة عمل الجى بى أس فى تحديد المواقع:

كما سبق سابقا فأن نظرية عمل نظم الملاحة أو الجيوديسيا بالأقمار الصناعية تعتمد علي مبدأ قياس الزمن الذي تستغرقه الموجة الراديوية منذ صدورها من وحدة البث (القمر الصناعي) وحتى وصولها لوحدة الاستقبال (المستقبل) ، ومن ثم يمكن حساب المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال من المعادلة:

$$D = c\,\Delta t \qquad (6\text{-}1)$$

حيث D المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال ، c سرعة الإشارة وتساوي سرعة الضوء = ٢٩٩٧٩٢.٤٥٨ كيلومتر/ثانية ، Δt فرق الزمن = زمن الاستقبال – زمن الإرسال لهذه الموجة الراديوية.

ويمكن التعبير عن هذه المسافة بدلالة الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية لكلا من القمر الصناعي (X_s, Y_s, Z_s) و جهاز الاستقبال (X_r, Y_r, Z_r) كالآتي:

$$D = \sqrt{[(X_s-X_r)^2 + (Y_s-Y_r)^2 + (Z_s-Z_r)^2]} \qquad (6\text{-}2)$$

حيث أن إحداثيات القمر الصناعي في أي لحظة تكون معلومة فأن المعادلة السابقة تحتوي علي ٣ قيم مجهولة وهم إحداثيات جهاز الاستقبال ذاته (X_r, Y_r, Z_r). مما يدل علي أنه يلزم وجود ٣ معادلات حتى يمكن حلهم معا آنيا simultaneously لحساب قيم الإحداثيات الثلاثة لجهاز الاستقبال. أي بمعني آخر: يلزم لجهاز الاستقبال رصد ٣ أقمار صناعية في نفس اللحظة.

وحيث أن سرعة الإشارة (سرعة الضوء) كبيرة جدا فأنه للوصول لدقة عالية في حساب المسافة يلزمنا دقة عالية أيضا في قياس الزمن أو حساب فرق الزمن Δt في المعادلة (٦-١). لاحظ أن الإشارة لا تستغرق أكثر من ٠.٠٦ ثانية لتقطع مسافة ٢٠،٠٠٠ كيلومتر من القمر الصناعي إلي سطح الأرض. إن الساعة الموجودة في القمر الصناعي من النوع الذري عالي الدقة جدا في تحديد زمن الإرسال (زمن خروج الإشارة من القمر الصناعي) لكن الساعة الموجودة في جهاز الاستقبال ليست بنفس هذه الدقة العالية (وإلا فأن سعرها سيكون مرتفعا جدا بصورة تجعل سعر أجهزة الاستقبال غير متاحة لكل المستخدمين). أبتكر العلماء فكرة جديدة وذكية للتغلب علي مشكلة عدم دقة الساعة في أجهزة الاستقبال ، وهي إضافة قيمة الخطأ في ساعة المستقبل وحلها من خلال معادلة رياضية. أي أن المعادلة (٦-١) والمعادلة (٦-٢) ستتحولان إلي:

$$D = c\,.\,(\Delta t + E_t) \qquad (6\text{-}3)$$

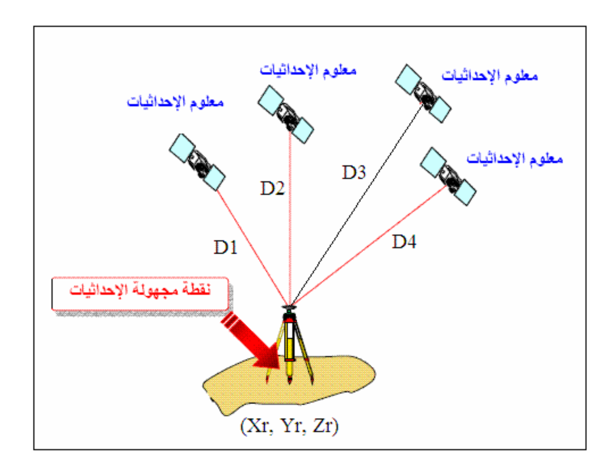
$$D + \Delta D = \sqrt{ [(X_s-X_r)^2 +(Y_s-Y_r)^2 +(Z_s-Z_r)^2] } \qquad (6-4)$$

حيث E_t هو الخطأ المطلوب حسابه لزمن الاستقبال الذي يقيسه جهاز المستقبل ، ΔD هو قيمة الخطأ في المسافة المحسوبة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال. وبالتالي فأن عدد القيم المجهولة Unknowns أصبح ٤ وليس ٣ (ثلاثة إحداثيات لموقع جهاز الاستقبال X_r, Y_r, Z_r وتصحيح المسافة الناتج عن خطأ ساعة الجهاز ΔD) مما يلزم وجود ٤ معادلات حتى يمكن حساب قيم العناصر الأربعة المجهولة:

$$D_1 + \Delta D_1 = \sqrt{ [(Xs_1-Xr)^2 +(Ys_1-Yr)^2 +(Zs_1-Zr)^2] }$$
$$D_2 + \Delta D_2 = \sqrt{ [(Xs_2-Xr)^2 +(Ys_2-Yr)^2 +(Zs_2-Zr)^2] } \qquad (6-5)$$
$$D_3 + \Delta D_3 = \sqrt{ [(Xs_3-Xr)^2 +(Ys_3-Yr)^2 +(Zs_3-Zr)^2] }$$
$$D_4 + \Delta D_4 = \sqrt{ [(Xs_4-Xr)^2 +(Ys_4-Yr)^2 +(Zs_4-Zr)^2] }$$

حيث D_1, D_2, D_3, D_4 المسافات المقاسة بين جهاز الاستقبال و الأقمار الصناعية الأربعة ، (Xs_1, Ys_1, Zs_1) و(Xs_2, Ys_2, Zs_2) و (Xs_3, Ys_3, Zs_3) و (Xs_4, Ys_4, Zs_4) تمثل إحداثيات الأقمار الصناعية الأربعة ، (X_r, Y_r, Z_r) تمثل إحداثيات جهاز الاستقبال ، E_r يمثل خطأ زمن جهاز الاستقبال.

إذن: المطلوب لحل مجموعة المعادلات هذه هو أن يقوم جهاز الاستقبال برصد ٤ أقمار صناعية في نفس اللحظة. وهذا هو ***الشرط الأساسي*** لحساب الإحداثيات ثلاثية الأبعاد باستخدام الجي بي أس (نكتفي برصد ٣ أقمار صناعية فقط لحساب الإحداثيات ثنائية الأبعاد أي بإهمال حساب ارتفاع الموقع). فإذا توفر لدينا عدد من المعادلات أكبر من ٤ (أي تم رصد أكثر من ٤ أقمار صناعية في نفس اللحظة) فستؤدي هذه الأرصاد الزائدة Redundant Measurement إلى زيادة دقة و جودة حل المعادلات ومن ثم زيادة دقة الإحداثيات المستنبطة.



شكل (٦-١٢) مبدأ الرصد في نظام الجي بي أس

٦-٣-٣ إشارات الأقمار الصناعية في الجي بي أس:

يقوم كل قمر صناعي من أقمار الجي بي أس بإرسال إشارتين راديويتين علي ترددين carrier frequencies ومحمل عليهما نوعين من الشفرات الرقمية digital codes بالإضافة لرسالة ملاحية navigation message. يبلغ تردد الإشارة الأولي (تسمي L1) ١٥٧٥.٤٢ ميجاهرتز بينما يبلغ تردد الإشارة الثانية (تسمي L2) ١٢٢٧.٦٠ ميجاهرتز. كما يبلغ طول الموجة wavelength لتردد L1 ١٩ سنتيمتر بينما يبلغ ٢٤.٤ سنتيمتر لتردد L2. السبب الرئيسي وراء وجود ترددين صادرين من كل قمر صناعي هو تقدير و حساب الخطأ الذي تتعرض له الإشارات عند مرورها في طبقات الغلاف الجوي. أما طريقة وضع modulation الشفرة علي التردد الحامل له فتختلف من قمر صناعي لآخر حتى يتم تقليل أخطاء تداخل الإشارات.

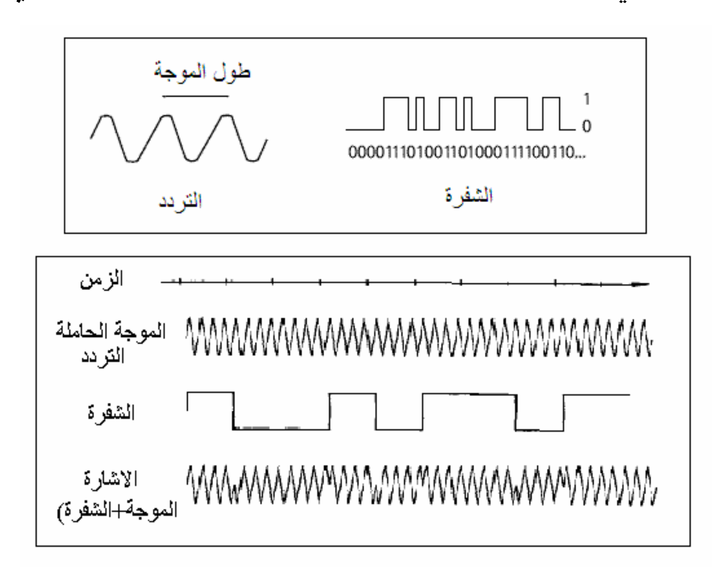
الشفرة الأولي تسمي شفرة الحصول الخشن Coarse-Acquisition Code وترمز لها بالرمز C/A وأحيانا نسميها الشفرة المدنية (لأنها المتاحة للأجهزة المدنية للتعامل معها وقراءة محتوياتها) ، بينما الشفرة الثانية تسمي الشفرة الدقيقة Precise Code ويرمز لها بالرمز P والبعض يطلق عليها أحيانا اسم الشفرة العسكرية (لان التعامل معها وقراءتها لا يتم إلا باستخدام أجهزة استقبال خاصة غير متاحة إلا لأفراد الجيش الأمريكي). تتكون كل شفرة من سيل من الأرقام صفر و واحد ، ولذلك تعرف الشفرة بمصطلح الضجة العشوائية الزائفة Pseudo Random Noise أو PRN لان الشفرة تشبه الإشارة العشوائية ، لكن في الحقيقة فأن الشفرة يتم توليدها من خلال نموذج رياضي وليست عشوائية. تحمل شفرة C/A علي التردد الأول L1 فقط بينما تحمل الشفرة P علي كلا الترددين L1, L2. تجدر الإشارة –

دون الدخول في تفاصيل فنية معقدة – أن الشفرة P أدق كثيرا من الشفرة C/A ولذلك فقد تم منـع إمكانيـة قراءتهـا مـن قبـل المـستخدمين المـدنيين منـذ فبرايـر ١٩٩٤ وقـصرها فقـط علـي التطبيقات العسكرية للولايات المتحدة الأمريكية و حلفاؤها (عن طريق إضافة قيم مجهولـة لهـا تسمي W-code بحيث تتغير الشفرة من P إلي ما يسمي الشفرة Y-code).

وبذلك يمكن القول أن نظام الجي بي أس يقدم نوعين من الخدمات:

- خدمـة التحديد القياسي للمواقع Standard Positioning Service أو اختـصارا SPS والتي تعتمد علي استقبال و قراءة واستخدام البيانـات مـن الـشفرة المدنيـة C/A ، ولذلك تسمي هذه الخدمة بالخدمة المدنية.
- خدمـة التحديـد الـدقيق للمواقـع Precise Positioning Service أو اختـصارا PPS والتي تعتمد علي استقبال و قراءة واستخدام البيانات من الشفرة الدقيقة P ولـذلك تسمي هذه الخدمة بالخدمة العسكرية.

وتتكون الرسالة الملاحيـة لكل قمر صـناعي مـن مجموعـة مـن البيانـات ، وهـي تـضاف علي كلا الترددين L1, L2. تحتوي بيانات الرسـالة الملاحيـة علـي إحداثيات القمـر الـصناعي ، معلومات عن حالة و كفاءة القمر (صحة القمر satellite health) وأيـضا الأقمـار الأخـرى ، تصحيح خطأ ساعة القمر ، الإحداثيات المتوقعة أو المحسوبة للقمـر الـصناعي (ولبـاقي الأقمـار) في الفترة المستقبلة وتسمي almanac ، بالإضافة لبيانات عن الغلاف الجوي.



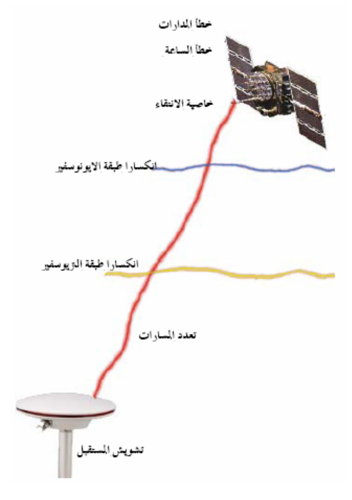
شكل (٦-١٣) التردد و الشفرة في إشارات الأقمار الصناعية

٦-٣-٤ مصادر الأخطاء في قياسات الجي بي أس:

كأي تقنية بشرية ، توجد عدة مصادر للأخطاء الطبيعية العشوائية Random Errors وأيضا الأخطاء المنتظمة Systematic Errors or Biases تؤثر علي جودة و دقة عمل الجي بي أس. أمكن للعلماء استنباط طرق و نماذج رياضية للتغلب علي هذه الأخطاء أو علي الأقل الوصول بها لأدني حد ممكن حتى يمكن الحصول علي دقة عالية في تحديد المواقع.

من أهم مصادر الأخطاء في نظام الجي بي أس:

أ- الاتاحية المنتقاة
ب- تأثير طبقة التروبوسفير في الغلاف الجوي
ت- تأثير طبقة الأيونوسفير في الغلاف الجوي
ث- خطأ ساعة القمر الصناعي
ج- خطأ مدار القمر الصناعي
ح- خطأ ساعة جهاز الاستقبال
خ- خطأ هوائي جهاز الاستقبال
د- خطأ تعدد المسار
ذ- تأثير الوضع الهندسي للأقمار الصناعية



شكل (٦-١٤) مصادر أخطاء الجي بي أس

يعرض الجدول التالي أحد التقديرات لتأثير مصادر الأخطاء علي دقة تحديد المواقع أو حساب إحداثيات أجهزة استقبال الجي بي أس:

تأثير الأخطاء علي دقة تحديد المواقع

(باستخدام شفرة C/A وعند مستوي ثقة ٩٥%)

نوع مصدر الخطأ	الخطأ (بالمتر)
طبقة التروبوسفير في الغلاف الجوي	٠.٢
طبقة الأيونوسفير في الغلاف الجوي	٧.٠
خطأ ساعة ومدار القمر الصناعي	٢.٣
خطأ جهاز الاستقبال	٠.٦
تعدد المسارات	١.٥
التوزيع الهندسي لمواضع الأقمار الصناعية	١.٥

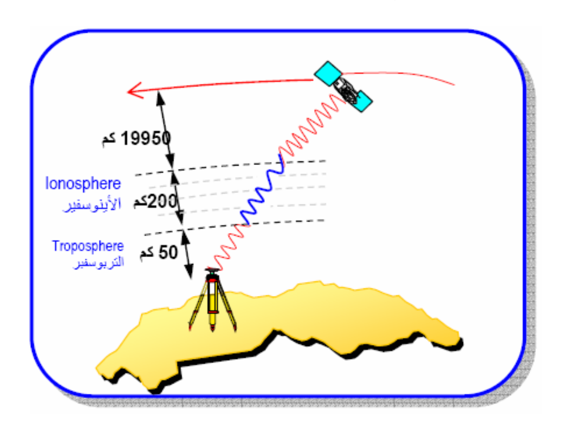
<u>خطأ الاتاحية المنتقاة:</u>

الاتاحية المنتقاة Selective Availability أو اختصارا SA هو خطأ متعمد حيث تضيف وزارة الدفاع الأمريكية قيمة معينة من الخطأ لتقليل الدقة التي يمكن للمستخدم أن يحسب إحداثياته اللحظية Real-Time. كان الهدف الرئيسي وراء فرض هذا الخطأ في إشارات الأقمار الصناعية هو منع التطبيقات العسكرية (التي تتطلب الحصول علي الإحداثيات لحظيا) للجيوش المعادية للولايات المتحدة من التمتع بمميزات دقة الجي بي أس ، ولم يكن هذا الخطأ يؤثر كثيرا علي التطبيقات المدنية – بصفة عامة – حيث طور العلماء عدة طرق رياضية لتقدير هذا الخطأ ومعالجته في مرحلة الحسابات المكتبية بعد انتهاء العمل الحقلي. أثناء فرض خطأ SA كانت الدقة الأفقية للخدمة المدنية SPS (عند مستوي معنوية ٩٥%) ±١٠٠ متر والدقة الأفقية تبلغ ±٣٠٠ متر. وفي ١ مايو ٢٠٠٠ وبعد دراسات مكثفة قامت الحكومة الأمريكية بإيقاف العمل بهذا المصدر من مصادر الأخطاء لتجعل إشارات الأقمار الصناعية في حالتها الطبيعية. ومنذ ذلك الحين فقد أصبحت الدقة الأفقية للخدمة المدنية SPS (عند مستوي معنوية ٩٥%) ±١٣ متر أو أقل كمتوسط علي المستوي العالمي وبحد أقصي ±٣٦ متر في أسوأ الحالات و المواقع ، بينما صارت الدقة الرأسية ±٢٢ متر أو أقل كمتوسط علي المستوي العالمي وبحد أقصي ±٧٧ متر في أسوأ الحالات و المواقع.

<u>تأثير طبقة التروبوسفير في الغلاف الجوي:</u>

التروبوسفير Troposphere طبقة من طبقات الغلاف الجوي للأرض تمتد حوالي ٥٠ كيلومتر من سطح الأرض. تتسبب هذه الطبقة – عند مرور إشارات الأقمار الصناعية بها

– في تأخير أو إبطاء سرعة الإشارات مما ينتج عنه خطأ في حساب المسافات بين جهاز الاستقبال والأقمار الصناعية (حيث تكون المسافة المحسوبة أطول من المسافة الحقيقية) ، وبالتالي سينتج خطأ في تحديد إحداثيات موقع الرصد. تتراوح قيم خطأ طبقة التروبوسفير بين ٢.٣ متر للأقمار التي تقع رأسيا أعلي جهاز الاستقبال ، ٩.٣ متر للأقمار علي زاوية ارتفاع ١٥° من جهاز الاستقبال ، ٢٠-٢٨ متر للأقمار علي زاوية ارتفاع ٥° فقط من جهاز الاستقبال. أبتكر العلماء عدة نماذج رياضية تمكن من تقدير قيمة خطأ التروبوسفير – بدقة معقولة – ومن ثم إمكانية تصحيح تأثير هذا الخطأ علي إشارات الأقمار الصناعية. من أحدث هذه النماذج نموذج هيئة المحيطات و الأجواء الأمريكية NOAA.

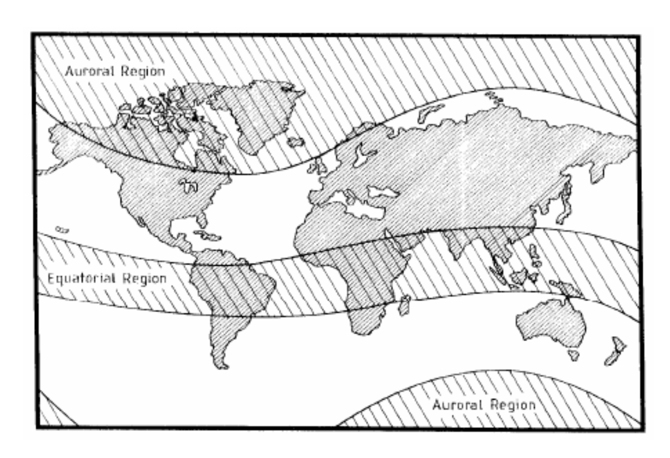


شكل (٦-١٥) طبقيتي التروبوسفير و الأيونوسفير في العلاف الجوي

<u>تأثير طبقة الأيونوسفير في الغلاف الجوي:</u>

في الطبقات العليا من الغلاف الجوي للأرض فأن الأشعة فوق البنفسجية و الأشعة السينية تتفاعل مع جزئيات و ذرات الغازات ، مما ينتج عنه الكترونيات و ذرات حرة في احدي طبقات الغلاف الجوي. تسمي هذه الطبقة بالأيونوسفير Ionosphere أو طبقة التأين الحر و هي تمتد من ارتفاع حوالي ٥٠ كيلومتر من سطح الأرض إلي ارتفاع حوالي ١٠٠٠ كيلومتر أو أكثر. تؤثر طبقة الأيونوسفير علي إشارات الجي بي أس المرسلة من الأقمار الصناعية بصورة تجعل الإشارة أسرع قليلا من سرعة الضوء ، أي أن المسافة المحسوبة بين المستقبل و القمر الصناعي ستكون أقصر (في حالة استخدام أرصاد الطور) و أطول (في حالة استخدام أرصاد الشفرة) من المسافة الحقيقية ، مما سينتج عنه خطأ في تحديد إحداثيات موقع الرصد. يعتمد تأثير خطأ الأيونوسفير علي دورة النشاط الشمسي التي تتكرر كل ١١ سنة ويبلغ أقصي تأثير له عند قمة هذه الدورة حيث تبلغ كمية الإشعاع الشمسي أقصي مدي لها. كما يزداد النشاط الشمسي (ومن ثم تأثير الأيونوسفير) في الحزام الجغرافي ±٣٠° خط الاستواء المغناطيسي و

في مناطق الشفق القطبية. عامة يتراوح تأثير خطأ الأيونوسفير في تحديد الإحداثيات من ٥ إلي ١٥ متر ، وقد يبلغ حوالي ١٥٠ متر في فترة الإشعاع الشمسي القصوى وخاصة بالقرب من المستوي الأفقي Horizon في فترة منتصف اليوم. حيث أن تأثير الأيونوسفير يختلف باختلاف تردد الموجة فقد تمكن العلماء من استنباط طرق رياضية لحساب هذا التأثير عند استخدام أجهزة استقبال ثنائية التردد (أي تستقبل إشارات الأقمار الصناعية علي كلا الترددين L1 and L2). وهذا هو السبب وراء أن هذه الأجهزة ثنائية التردد هي المستخدمة في الأعمال الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية في تحديد المواقع (مثل إنشاء شبكات الثوابت الأرضية)، بينما الأجهزة أحادية التردد (L1 فقط) تستخدم في تطبيقات الرفع المساحي التي لا تطلب إلا دقة سنتيمترات.



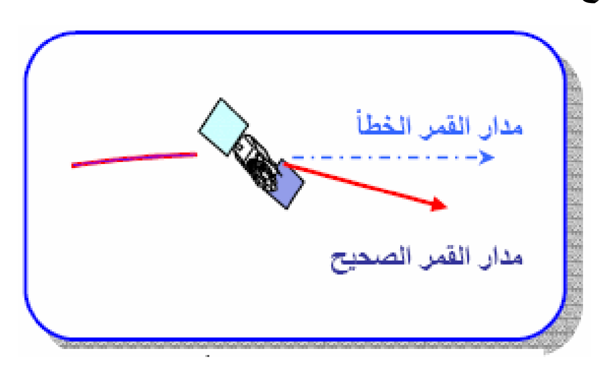
شكل (٦-١٦) مناطق النشاط الشمسي المرتفع

<u>خطأ ساعة القمر الصناعي:</u>

مع أن الساعات الموجودة في الأقمار الصناعية هي ساعات ذرية دقيقة جدا ، إلا أنها ليست تامة الدقة perfect وتكون دقتها في حدود من ٨.٦٤ إلي ١٧.٢٨ نانوثانية/يوم (النانو ثانية هو الجزء من المليار من الثانية الواحدة). وهذه الدقة في قياس الزمن في القمر الصناعي تعادل دقة تتراوح بين ٢.٥٩ و ٥.١٨ متر في قياس المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال. يقوم قسم التحكم و السيطرة – في منظومة الجي بي أس – بمراقبة أداء الساعات الموجودة في الأقمار الصناعية وحساب قيمة أي أخطاء بها ومن ثم يرسل هذه التصحيحات إلي الأقمار الصناعية و التي تقوم بدورها في إعادة بث هذه المعلومات – داخل الرسالة الملاحية – إلي المستخدمين لأخذها في الاعتبار. إلا أن هذه التصحيحات لا تكون كافية تماما ويتبقي جزء بسيط من الخطأ يؤدي لوجود خطأ - في حساب إحداثيات أجهزة الاستقبال - في حدود أمتار قليلة.

خطأ مدار القمر الصناعي:

مدار كل قمر صناعي يتم حسابه بواسطة محطة التحكم و السيطرة و إرساله للأقمار الصناعية التي بدورها ترسله للمستخدمين داخل ما يعرف بالرسالة الملاحية في الإشارات. لكن القوي الحقيقية في الفضاء الخارجي المؤثرة علي حركة القمر الصناعي في مداره لا تكون في الصورة المثلي المستخدمة في النماذج الرياضية لحساب مدار كل قمر صناعي ، مما سينتج عنه اختلاف بين المدار المحسوب (أي إحداثيات القمر الصناعي) و المدار الحقيقي. وعامة يبلغ خطأ المدار قيمة تتراوح بين ٢ و ٥ متر.



شكل (٦-١٧) خطأ مدار الأقمار الصناعية

خطأ ساعة جهاز الاستقبال:

تستخدم أجهزة الاستقبال في قياس الزمن ساعات أرخص وأقل دقة من الساعات الذرية الموجودة في الأقمار الصناعية ، مما ينتج عنه خطأ في قياس المسافة لبن القمر و المستقبل تكون قيمته أكبر بكثير من خطأ ساعة القمر الصناعي. لكن أخطاء ساعة جهاز الاستقبال يمكن معالجتها بعدة طرق منها طريقة إضافة مجهول أثناء عملية حل المعادلات في حسابات إحداثيات جهاز الاستقبال (المعادلتين ٦-٣ و ٦-٤).

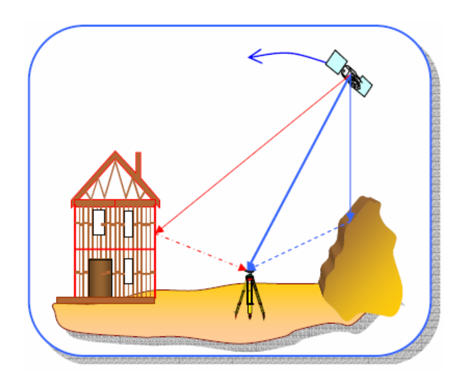
خطأ هوائي جهاز الاستقبال:

من أهم خصائص هوائي جهاز الاستقبال Receiver Antenna دقة تحديد نقطة التقاط الأشعة القادمة من الأقمار الصناعية وهي المسماه "مركز طور الهوائي Antenna Phase Center". عامة لا ينطبق مركز طور الهوائي مع المركز الهندسي للهوائي ، حيث أنه يختلف عنه بناء علي ارتفاع و انحراف القمر الصناعي أثناء الرصد. ويؤدي ذلك الاختلاف إلي خطأ في قياس المسافات و حساب إحداثيات جهاز الاستقبال. تختلف قيمة خطأ الهوائي باختلاف نوع الهوائي ذاته ، ويكون عادة في حدود سنتيمترات قليلة. وتوجد أنواع من الهوائيات

للأجهزة المساحية العادية و أنواع أخري للأجهزة الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية في تحديد المواقع.

خطأ تعدد المسار:

يعد خطأ تعدد المسار من أهم و أخطر أنواع مصادر الأخطاء في قياسات الجي بي أس. ينتج هذا الخطأ عندما تصل إشارات الأقمار الصناعية إلي جهاز الاستقبال من خلال مسارات متعددة ، أي تصطدم الإشارة بعائق (شجرة أو مبني أو جسم معدني أو سطح مائي مثلا) ثم ترتد إلي جهاز الاستقبال. من الممكن أن يصل تأثير هذا الخطأ إلي ٥ متر عند استخدام قياسات الطور علي التردد الأول L1 ، بينما قد يصل إلي عشرات الأمتار عند استخدام أرصاد الشفرة. من هنا جاءت أهمية اختيار أماكن أجهزة الاستقبال بصورة مناسبة لتفادي هذا الخطأ ، كما توجد أيضا أنواع من هوائيات أجهزة الاستقبال (تسمي Chock-Ring Antenna) تقلل بنسبة كبيرة من أخطاء تعدد المسار.



شكل (٦-١٨) خطأ تعدد المسارات



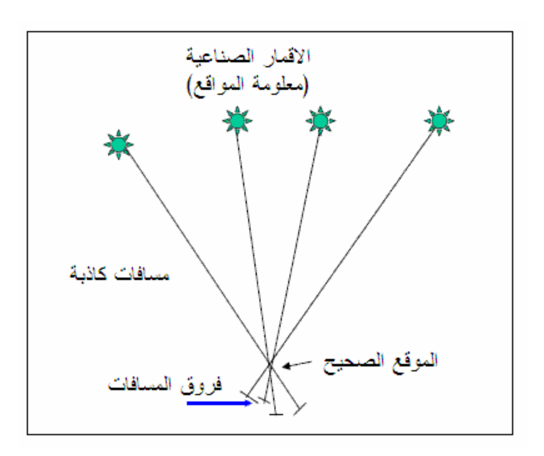
شكل (٦-١٩) نوع هوائي يقلل خطأ تعدد المسارات

٦-٣-٥ أرصاد الجي بي أس

يوفر نظام الجي بي أس أربعة أنواع من الأرصاد (أو طرق قياس المسافات بين جهاز الاستقبال و الأقمار الصناعية) إلا أن نوعين فقط هما الشائعي الاستخدام والمطبقين في أجهزة الاستقبال ، وهما المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة (البعض يسميها أشباه المسافات) و فرق طور الإشارة الحاملة. تختلف دقة تحديد المواقع بدرجة كبيرة جدا باختلاف نوع الأرصاد ، فالأجهزة الملاحية تطبق طريقة المسافة الكاذبة ودقتها في حساب الإحداثيات بحدود عدة أمتار بينما تطبق الأجهزة الجيوديسية أسلوب فرق طور الإشارة الحاملة لتصل إلي مستوي عدة سنتيمترات في دقة تحديد المواقع. وسنتعرض لكلا نوعي الأرصاد في الأجزاء التالية.

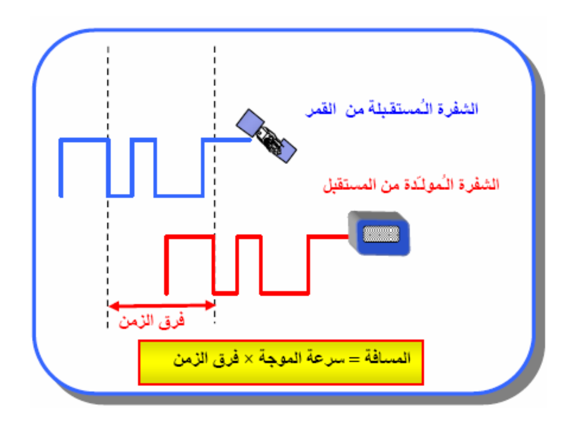
أرصاد المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة:

يعتمد هذا الأسلوب أو هذا النوع من أرصاد الجي بي أس علي الفكرة البسيطة التي تعرضنا إليها في الفصل الثالث وهي أن المسافة بين جهاز الاستقبال و القمر الصناعي تساوي سرعة الإشارة مضروبة في الزمن المستغرق (معادلة ٦-١). لكن بسبب وجود عدة مصادر للأخطاء فأن هذه المسافة المحسوبة لن تساوي المسافة الحقيقية بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال ، ولذلك تسمى المسافة الكاذبة Pseudo range.



شكل (٦-٢٠) مبدأ المسافات الكاذبة

لقياس المسافة الكاذبة يقوم جهاز الاستقبال بتطوير شفرة داخله (سواء الشفرة المدنية C/A أو الشفرة العسكرية الدقيقة P طبق لنوع جهاز الاستقبال ذاته) مماثلة للشفرة التي يستقبلها من القمر الصناعي. بمقارنة كلا الشفرتين يمكن حساب فرق الزمن الذي استغرقته الإشارة منذ صدورها من القمر الصناعي وحتى وصولها لجهاز الاستقبال ، ومن ثم يمكن حساب قيمة المسافة الكاذبة.



شكل (٦-٢١) طريقة قياس المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة

يمكن التعبير عن المسافة الكاذبة بدلالة إحداثيات كلا من القمر الصناعي (الإحداثيات المعلومة) وجهاز الاستقبال (الإحداثيات المطلوب حسابها) بالمعادلة التالية:

$$PR_i = ((X_i-X_B)^2 + (Y_i-Y_B)^2 + (Z_i-Z_B)^2)^{1/2} + c\, dt_u \qquad (6-6)$$

حيث:

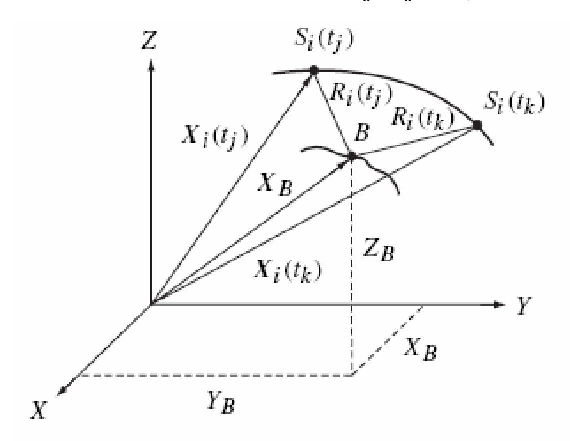
PR_i المسافة الكاذبة المقاسة بين القمر الصناعي i وجهاز الاستقبال B.

(X_i , Y_i , Z_i) إحداثيات القمر الصناعي.

(X_B , Y_B , Z_B) إحداثيات جهاز الاستقبال.

c سرعة الضوء.

dt_u خطأ التزامن بين زمن نظام الجي بي أس و ساعة جهاز الاستقبال.



شكل (٦-٢٢) العلاقات الهندسية في أرصاد المسافات الكاذبة

وطبقا لوجود العديد من مصادر الأخطاء التي تؤثر علي إشارات الأقمار الصناعية فأن المعادلة (٦-٦) غير دقيقة و يجب أن تصبح:

$$PR_i = ((X_i-X_B)^2 + (Y_i-Y_B)^2 + (Z_i-Z_B)^2)^{1/2} + c\, dt_u + \delta \qquad (6-7)$$

حيث δ يضم تأثيرات أخطاء الأيونوسفير و التروبوسفير و باقي الأخطاء الأخرى الطبيعية منها و العشوائية.

وبرصد ٤ أقمار صناعية (علي الأقل) يمكن تكوين ٤ معادلات من النوع (٦-٧) وحلهم آنيا لحساب قيم إحداثيات جهاز الاستقبال. من أهم مميزات ها النوع من أرصاد تقنية الجي بي أس أنه لا يتطلب مواصفات تقنية عالية تدخل في تصنيع أجهزة الاستقبال ، فاستخدام الشفرة لا يتطلب أجزاء الكترونية متقدمة وبالتالي فأن سعر جهاز الاستقبال لن يكون غاليا. ومن هنا فأن جميع أجهزة الاستقبال الملاحية Navigation أو المحمولة يدويا Hand-Held تطبق أسلوب المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة في تحديد المواقع. وعلي الجاني الآخر فأن أهم عيوب

هذا النوع من أرصاد الجي بي أس يتمثل في أن الدقة المتوقعة لتحديد المواقع بهذا الأسلوب لن تكون عالية الدقة. يمكن تقدير دقة أرصاد المسافة الكاذبة بقيم تتراوح بين ±٦ متر (عند انحراف معياري 1σ أي بنسبة احتمال تبلغ ٦٨.٣%) و ±١٩ متر (عند انحراف معياري 3σ أي بنسبة احتمال تبلغ ٩٩.٧%) للإحداثيات الأفقية ، بينما ستكون الدقة أكبر من هذه الحدود في الإحداثي الرأسي (من ±١١ إلي ±٤٢ متر). وبالطبع فقد تكون هذا الدقة في تحديد المواقع مناسبة للأعمال الاستكشافية و الجغرافية والخرائط ذات مقياس الرسم الصغير و بعض تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية ، إلا أنها دقة غير مناسبة للأعمال المساحية و الجيوديسية. وتجدر الإشارة إلي أن هذا النوع من أرصاد الجي بي أس يسمي أيضا التحديد المطلق للنقطة Absolute Point Positioning حيث أنه يعتمد علي استخدام جهاز استقبال واحد فقط لتحديد موقع أو إحداثيات النقطة المرصودة في نفس لحظة رصدها.

أرصاد فرق طور الإشارة الحاملة:

يقوم جهاز الاستقبال (الجيوديسي النوع) بتطوير موجة داخلية ثابتة تشبه الموجة التي يبثها القمر الصناعي ، ثم يقوم بمقارنة طور phase كلا الموجتين عن طريق قياس فرق الطور carrier phase or carrier beat phase والذي يكون دالة في المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال في لحظة الرصد. لكن هذا الفرق في الطور يتكون من جزأين: (١) العدد الصحيح integer للموجات الكاملة ، (٢) أجزاء الموجات عند كلا من جهاز الاستقبال و القمر الصناعي. وهنا تأتي أهم المشاكل التي تواجه نوع هذه الأرصاد: جهاز الاستقبال يستطيع وبكل دقة قياس أجزاء الموجات لكنه لا يستطيع تحديد عدد الموجات الكاملة. ومن ثم فأن العدد الصحيح للموجات الكاملة ويسمي الغموض الصحيح Integer Ambiguity أو اختصارا الغموض Ambiguity (N') يتم اعتباره قيمة مجهولة مطلوب حسابها أثناء إجراء حسابات تحديد المواقع.

فرق الطور Φ_B عند جهاز الاستقبال B هو الفرق بين طور الإشارة الملتقطة من القمر الصناعي Φ_{CR} وطور الإشارة الثابتة المولدة في جهاز الاستقبال Φ_o:

$$\Phi_B = \Phi_{CR} - \Phi_o \tag{6-8}$$

والذي يمكن كتابته بصورة أخري كالآتي:

$$\Phi_{CR} = (2\pi / \lambda') (| X_i - X_B | - N'_{Bi} \lambda + c \, dt_U) \tag{6-9}$$

حيث:

X_i متجه vector موقع القمر الصناعي

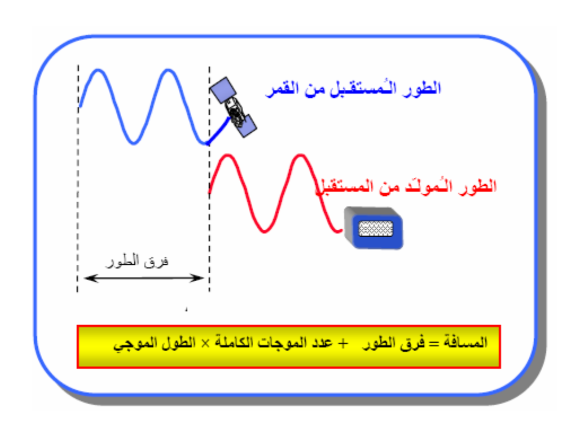
X_B متجه vector موقع جهاز الاستقبال

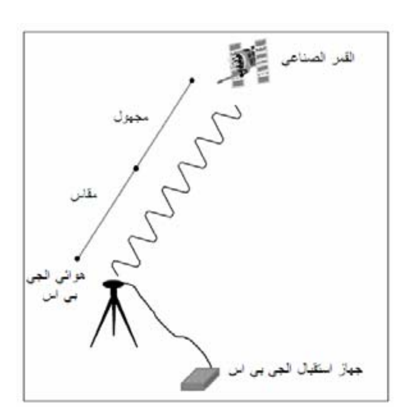
λ' طول الموجة الحاملة (١٩ سم للموجة الأولي L1 ، ٢٤ سم للموجة الثانية L2).

c سرعة الضوء.

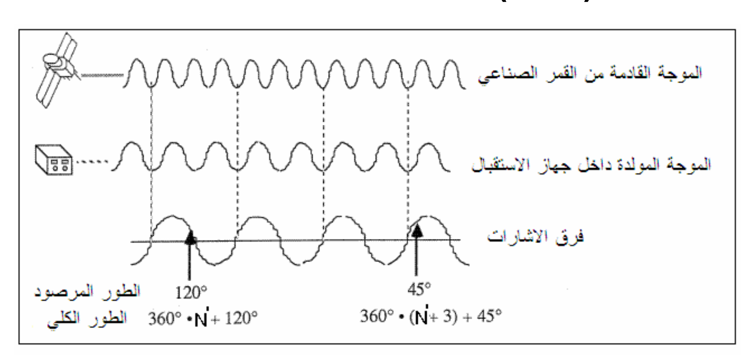
dt_u خطأ التزامن بين زمن نظام الجي بي أس و ساعة جهاز الاستقبال.

N' هو الغموض أو عدد الموجات الصحيحة.





شكل (٦-٢٣) أرصاد فرق طور الموجة الحاملة



شكل (٦-٢٤) كيفية قياس فرق طور الموجة الحاملة

أيضا وبسبب وجود العديد من مصادر الأخطاء التي تؤثر علي إشارات الأقمار الصناعية فأن المعادلة (٦-٩) غير دقيقة تماما و يجب أن تصبح:

$$\Phi_{CR} = (2\pi / \lambda)(|X_i - X_B| - N'_{Bi}\lambda' + c\,dt_U) + \delta \qquad (6\text{-}10)$$

حيث δ يضم تأثيرات أخطاء الأيونوسفير و التروبوسفير و باقي الأخطاء الأخرى الطبيعية منها و العشوائية.

ومن عيوب ها النوع من أرصاد تقنية الجي بي أس أنه يتطلب مواصفات تقنية عالية تدخل في تصنيع أجهزة الاستقبال ، فتوليد موجة داخل أجهزة الاستقبال يتطلب أجزاء الكترونية

متقدمة وبالتالي فأن سعر جهاز الاستقبال سيكون غاليا مقارنة بأجهزة قياس المسافات الكاذبة. ومن هنا فأن أجهزة الاستقبال الملاحية Navigation أو المحمولة يدويا Hand-Held لا تطبق هذا الأسلوب ، إنما هو فقط مطبق في تحديد المواقع باستخدام الأجهزة الجيوديسية. وعلي الجاني الآخر فأن أهم مميزات أرصاد الجي بي أس باستخدام فرق طور الإشارة الحاملة يتمثل في أن الدقة المتوقعة لتحديد المواقع بهذا الأسلوب تكون عالية. فالقاعدة العامة أن أقل مسافة يمكن قياسها بهذا النوع من الأرصاد = (٣٦٠/٢) من طول الموجة ، فمثلا طول موجة التردد الأول L1 = ١٩ سنتيمتر ، مما يسمح لنا بقياس مسافات تصل إلي ١ ملليمتر. وبالطبع فأن هذا المستوي العالي من الدقة في تحديد المواقع مناسبة للأعمال المساحية و الجيوديسية.

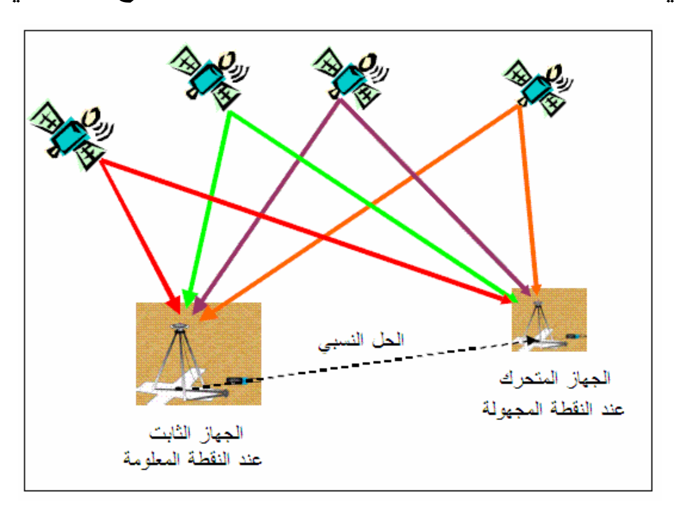
٦-٣-٦ طرق الرصد بتقنية الجي بي أس

لتحديد إحداثيات موقع أو نقطة معينة يكفي استخدام جهاز استقبال واحد يقوم باستقبال الموجات المرسلة من الأقمار الصناعية ، وهذا ما يطلق عليه التحديد المطلق للمواقع Absolute Point Positioning. لكن دقة هذه الإحداثيات ستكون في حدود عدة أمتار مما يجعل هذا الأسلوب مناسبا للتطبيقات الملاحية وبعض تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية أو للخرائط ذات مقياس الرسم الصغير ، لكنه بالطبع لن يكون مناسبا للتطبيقات المساحية و الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية في تحديد المواقع.

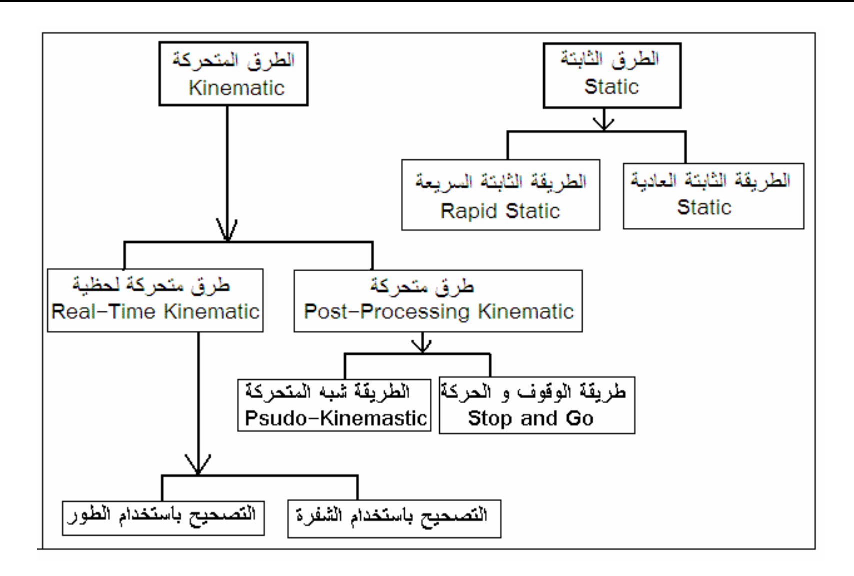
تتعدد طرق الرصد المساحية بنظام الجي بي أس بطريقة كبيرة بناءا علي عدة عوامل مثل عدد أجهزة الاستقبال المتوفرة و الدقة المطلوبة أو طبيعة المشروع. يجب علي مستخدم الجي بي أس أن يلم بمميزات و عيوب كل طريقة قبل أن يقرر الطريقة التي يتبعها في مشروع معين. وتعتمد الطرق المساحية لتجميع أرصاد الجي بي أس علي أسلوب الرصد النسبي أو الرصد التفاضلي Relative or Differential حيث يكون هناك جهازي استقبال أحدهما يسمي القاعدة Base Receiver أو الجهاز المرجعي Reference Receiver موجودا علي نقطة مساحية معلومة الإحداثيات ، بينما الجهاز الثاني يسمي المتحرك Rover Receiver وهو الذي يتولي رصد النقاط المطلوب تحديد موقعها ، ويقوم كلا الجهازين برصد الأقمار الصناعية آنيا simultaneously في نفسي الوقت. يقوم الجهاز الثابت أو القاعدة بتحديد قيمة الخطأ في إشارات الأقمار الصناعية في كل لحظة وذلك عن طريق مقارنة الإحداثيات المعلومة لهذه النقطة مع إحداثياتها المحسوبة من أرصاد الجي بي أس. بافتراض أن المسافة بين جهاز القاعدة و الجهاز المتحرك ليست كبيرة فيمكن اعتماد مبدأ أن تأثير أخطاء

الرصد عند النقطة المتحركة تساوي تقريبا نفس التأثير عند النقطة القاعدة ، ومن ثم يمكن أيضا تصحيح إحداثيات النقاط التي يرصدها الجهاز الآخر أو الجهاز المتحرك ، عن طريق نقل هذه التصحيحات من الجهاز الثابت إلي الجهاز المتحرك. قد تتم عملية نقل التصحيحات في المكتب بعد انتهاء تجميع البيانات الحقلية (نسميها المعالجة اللاحقة Post-Processing) أو تتم لحظيا في الموقع (نسميها التصحيح اللحظي Real-Time). وتجدر الإشارة إلي أن الحل الناتج من هذه الطرق يكون حلا نسبيا - أي فرق الإحداثيات - بين النقطة المعلومة و النقطة المجهولة (ΔX, ΔY, ΔZ) والذي سيضاف إلي إحداثيات النقطة المعلومة ليمكننا حساب إحداثيات النقطة المجهولة.

وبصفة عامة يمكن تقسيم طرق الرصد إلي مجموعتين رئيسيتين: الطرق الثابتة Static – ومنها الطريقة التقليدية و الطريقة السريعة – والطرق المتحركة Kinematic ومنها طرق تعتمد علي الحساب اللاحق و أخري تعتمد علي استقبال تصحيحات بهدف إكمال عملية حساب الإحداثيات في الموقع مباشرة. وتجدر الإشارة إلي أن الطريقة الثابتة التقليدية هي الأنسب لمشروعات المساحة الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية (مثل إنشاء شبكات الثوابت الأرضية) بينما باقي الطرق تكون مناسبة للأعمال المساحية والرفع المساحي.



شكل (٦-٢٥) مبدأ الرصد النسبي لأرصاد الجي بي أس



شكل (٦-٢٦) طرق رصد الجي بي أس

طريقة الرصد الثابت التقليدى Static:

في هذه الطريقة يحتل الجهاز الثابت نقطة معلومة الإحداثيات بينما يقوم الجهاز الآخر (أو عدد من الأجهزة) باحتلال النقطة (أو النقاط) المجهولة المطلوب تحديد مواقعها ، وفي نفس الوقت تبدأ كل الأجهزة في استقبال إشارات الأقمار الصناعية. الأجهزة الجيوديسية ثنائية التردد Dual-Frequency Geodetic Receivers هي الأجهزة المستخدمة في هذه الطريقة حتى يمكن الوصول لمستوي الدقة المطلوبة ، وان كان يمكن استخدام الأجهزة أحادية التردد Single-Frequency Receivers للمسافات الصغيرة التي لا تتجاوز ٢٠ كيلومتر. تتراوح فترة الرصد المشترك session التي تعمل خلالها أجهزة الاستقبال بين ٣٠ دقيقة و عدة ساعات طبقا لطول المسافات بين الجهاز الثابت و الأجهزة الأخرى (ما يطلق عليه خط القاعدة أو خطوط القواعد Base Line). تقوم أجهزة الاستقبال بتجميع الأرصاد بمعدل (Sample Rate) رصده كل ١٥-٢٠ ثانية. وبعد انتهاء تجميع الأرصاد الحقلية يتم نقل البيانات (من جميع الأجهزة) إلي الحاسب الآلي حيث تتولي برامج متخصصة GPS Data Processing Software تنفيذ عمليات الحساب و الضبط للوصول إلي قيم دقيقة لإحداثيات النقاط المجهولة. وتبلغ الدقة المتوقعة لطريقة الرصد الثابت التقليدية ٥ ملليمتر ± ١ جزء من المليون (ppm) أي ٥ ملليمتر + ملليمتر لكل واحد كيلومتر من طول خط القاعدة.

طريقة الرصد الثابت السريع Rapid Static:

في حالة وقوع النقاط المجهولة (المطلوب تحديد إحداثياتها) في نطاق مسافة قصيرة – في حدود ١٠-١٥ كيلومتر - من موقع النقطة المعلومة أو المرجعية فيمكن للجهاز المتحرك أن يرصد نقطة مجهولة لمدة زمنية بسيطة ، ثم ينتقل لرصد نقطة مجهولة ثانية و ثالثة و هكذا. يكون الجهاز القاعدة أو الجهاز المرجعي مستمرا في تجميع الأرصاد طوال فترات الرصد كلها لتتوفر أرصاد مشتركة مع الجهاز المتحرك عند كل نقطة مجهولة يقوم برصدها. لذلك سميت هذه الطريقة بالرصد الثابت السريع Fast or Rapid Static. تتراوح فترة الرصد session عند كل نقطة مجهولة بين ٢ و ١٠ دقائق ، وبمعدل رصد sample rate كل ١٥-٢٠ ثانية مثل الطريقة الثابتة التقليدية. وأيضا يتم نقل الأرصاد من كلا الجهازين إلي الحاسب الآلي لإجراء عمليات الحسابات و استنتاج إحداثيات النقاط المجهولة التي تم رصدها. وتتميز طريقة الرصد الثابت السريع أنها تقلل بدرجة كبيرة من الوقت اللازم لتجميع البيانات الحقلية ، مما يجعلها مناسبة للأعمال المساحية التفصيلية و الطبوغرافية في منطقة صغيرة. لكن وعلي الجانب الآخر فأن الدقة المتوقعة لهذه الطريقة (١٠ ملليمتر ± ١ ppm) لا تصل لنفس مستوي دقة طريقة الرصد الثابت التقليدية مما يجعلها غير مطبقة في الأعمال الجيوديسية الدقيقة.

طرق الرصد المتحركة Kinematic:

تعتمد فكرة الرصد المتحرك علي وجود جهاز ثابت مرجعي Base علي النقطة المعلومة بينما يتحرك الجهاز الآخر Rover (أو الأجهزة) لرصد عدد من النقاط المجهولة. تختلف طرق الرصد المتحرك بناءا علي عاملين: أسلوب حركة الجهاز الثاني ، طريقة نقل التصحيحات من الجهاز الثابت لباقي الأجهزة.

طرق الرصد المتحرك والحساب لاحقا:

في هذه النوعية من أساليب الرصد المتحرك يتم الاعتماد علي أن التصحيحات - التي يقوم بحسابها الجهاز المثبت فوق النقطة المعلومة – سيتم نقلها إلي أرصاد الأجهزة المتحركة عن طريق برنامج الحساب software في الحاسب الآلي بعد انتهاء الأعمال الحقلية. أي أن حساب إحداثيات النقاط المرصودة سيكون في المكتب أو Post-Processing وليس في الحقل(تسمي هذه الطرق PPK اختصارا لكلمات Post-Processing Kinematic).

أولي هذه النوعية طريقة الذهاب و التوقف Stop and Go وفيها يتوقف الجهاز المتحرك Rover لمدة ١٥-٣٠ ثانية ليرصد كل نقطة من النقاط المجهولة. في أولي النقاط المجهولة يتوقف جهاز للاستقبال لمدة ٥-١٠ دقائق يجمع فيها عدد من أرصاد الأقمار الصناعية يسمح بحساب قيمة الغموض Ambiguity ، وتسمي هذه الخطوة: الإعداد Initialization. ثم يبدأ التحرك إلي النقطة الثانية ثم الثالثة و هكذا وهو مستمر في تجميع الأرصاد. طالما لم ينقطع الاتصال (استمرارية استقبال الموجات) بين المستقبل و الأقمار الصناعية فتستمر حركة الجهاز، إما إذا أنقطع هذا الاستمرار – أي حدث خطأ تغير الدورة Cycle Slip – فيجب العودة لآخر نقطة مرصودة و البقاء أعلاها في وضع الثبات لمدة ٥-١٠ دقائق (عملية إعداد جديدة)، ومن هنا جاء اسم هذه الطريقة: الذهاب و التوقف، والتي تناسب الرفع المساحي التفصيلي في حدود ١٠-١٥ كيلومتر حول النقطة المعلومة. تقليديا كانت طريقة الذهاب و التوقف أقدم طرق الرصد المتحرك – تم تطويرها في نهاية الثمانينات من القرن العشرين الميلادي – وربما لم تعد مستخدمة بكثرة الآن.

أما ثاني و أحدث طرق الرصد المتحرك فهي ما تعرف باسم طريقة الرصد شبه المتحرك Pseudo-Kinematic والبعض يسميها طريقة الرصد المتحرك Kinematic مباشرة. وأهم مميزاتها أنها لا تتطلب الوقوف عند كل نقطة مجهولة ، إنما تكتفي برصدها حتى ولو ثانية واحدة. أيضا لا تتطلب طريقة الرصد شبه المتحرك إجراء عملية الإعداد لأنها تطبق مبدأ رياضي حديث يسمح بحساب قيمة الغموض أثناء بدء حركة الجهاز Rover من نقطة لآخري (يسمي الحل الطائر On-The-Fly أو اختصارا OFT). أيضا في هذه الطريقة يتم ضبط جهاز الاستقبال بحيث يسجل الأرصاد آليا كل فترة زمنية معينة (مثلا كل ثانية) ولا توجد حاجة للمستخدم لإعطاء أمر الرصد في جهاز الاستقبال عند كل نقطة مجهولة كما في طريقة الذهاب و التوقف. كل هذه المميزات جعلت طريقة الرصد شبه المتحرك أكثر جاذبية وأسهل و أرخص لتطبيقات الرفع المساحي.

<u>طرق الرصد المتحرك مع الحساب اللحظي:</u>

كانت الطرق التقليدية للرصد المتحرك تعتمد علي فكرة تجميع الأرصاد في الموقع ثم إجراء الحسابات علي الحاسب الآلي في المكتب. لكن وجد مهندسو المساحة أن هناك حالات معينة – مثل توقيع نقاط معلومة الإحداثيات علي أرض الواقع Stack Out – تحتاج حساب قيم إحداثيات النقط المرصودة في نفس لحظة الرصد. من هنا بدأ التفكير في تطوير طرق رصد

متحركة جديدة. تعتمد هذه الطرق علي وجود جهاز راديو عند النقطة الثابت يقوم بإرسال أو بث التصحيحات التي يقوم الجهاز المرجعي بحسابها إلي الجهاز (أو الأجهزة) المتحرك والذي بدورها يكون متصل بجهاز راديو لاسلكي آخر. أي أن الجهاز المتحرك سيتكون من وحدتين: وحدة استقبال إشارات الأقمار الصناعية ، بالإضافة إلي وحدة استقبال لا سلكية لاستقبال التصحيحات المرسلة من الجهاز الثابت. من أرصاد الأقمار الصناعية يقوم الجهاز المتحرك بحساب إحداثيات النقطة المرصودة (لكنها إحداثيات غير دقيقة تماما) ومن تصحيحات الجهاز المرجعي يقوم الجهاز المتحرك بتصحيح الإحداثيات للوصول إلي قيم دقيقة في نفس اللحظة ، ولذلك فتسمي هذه الطرق بطرق الرصد المتحرك الآني Real-Time. وبناء علي نوع التصحيحات التي يحسبها الجهاز الثابت فتوجد طريقتين من طرق الرصد المتحرك مع الحساب اللحظي. إذا كانت التصحيحات خاصة بأرصاد الشفرة code فأن الطريقة تسمي الجي بي أس التفاضلي Differential GPS أو اختصارا DGPS. بينما إن كان الجهاز الثابت يقوم بحساب و تصحيح أرصاد طور الموجة Carrier Phase فأن الطريقة تسمي الرصد المتحرك اللحظي Real-Time Kinematic أو اختصارا RTK. وكما سبق الإشارة فأن أرصاد طور الموجة تكون أكثر دقة من أرصاد الشفرة مما يؤدي إلي أن دقة طريقة الجي بي أس التفاضلي DGPS تكون عدة ديسيمترات أو ما هو أقل من المتر، بينما تصل دقة طريقة الرصد المتحرك اللحظي RTK إلي ٢-٥ سنتيمتر. ولذلك فأن طرق الرصد التفاضلي تستخدم في التطبيقات الملاحية و نظم المعلومات الجغرافية بينما طريقة الرصد المتحرك اللحظي هي المطبقة في الأعمال المساحية.

٦-٤ نظم ملاحية أخري لتحديد المواقع:

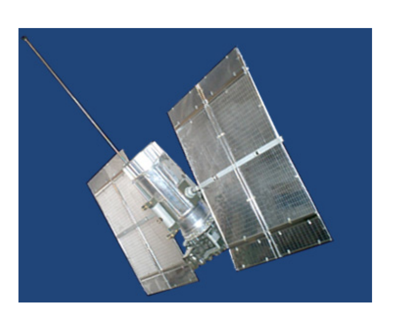
لا يعد الجي بي أس هو النظام الملاحي الوحيد المتوافر حاليا لتحديد المواقع باستخدام الأقمار الصناعية ، فتوجد عدة نظم شبيهه سواء نظم عالمية (تغطي خدماتها كل الأرض) أو نظم إقليمية (تغطي خدماتها مناطق معينة).

٦-٤-١ النظام الروسي جلوناس:

تتشابه بدايات النظام الروسي للملاحة بالأقمار الصناعية (أسمه باللغة الروسية هو: GLObal'naya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema وبالانجليزية: GLObal Navigation Satellite System) المعروف اختصارا باسم جلوناس GLONASS مع بدايات الجي بي أس من حيث أنه نظام عسكري بدأ التفكير بتطويره في

عام ١٩٧٦ أثناء فترة الحرب الباردة بين الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد السوفيتي السابق (روسيا الآن) ، كما أنه مثل الجي بي أس فيدار بواسطة وزارة الدفاع. في ١٢ أكتوبر ١٩٨٢ تم إطلاق أول قمر صناعي في نظام جلوناس وأعلن النظام يعمل مبدئيا في ٢٤ سبتمبر ١٩٩٣ (١٤١٤ هـ).

يتكون نظام جلوناس – رسميا – من ٢١ قمرا صناعيا موزعة في ٣ مدارات حول سطح الأرض ، وتدور علي ارتفاع ١٩١٠٠ كيلومتر من سطح الأرض وزاوية ميل ٦٤.٨° بحيث يكمل كل قمر (شكل ٣-٢١) دورة حول الأرض كل ١١ ساعة و ١٥ دقيقة. يرسل كل قمر صناعي نوعين من الخدمات: الإشارة الدقيقة Precision Signal أو اختصارا SP، الإشارة عالية الدقة High-Precision Signal أو اختصارا HP علي ترددات تتراوح بين ١٦٠٢.٥٦٢٥ و ١٦١٥.٥ ميجاهرتز(في النطاق المعروف باسم تردد L1). تبلغ الدقة المدنية جراء استخدام إشارات نظام جلوناس حوالي ٥٥ متر أفقيا و ٧٠ متر رأسيا عند رصد ٤ أقمار صناعية، لكن دقة الإشارة عالية الدقة HP تكون أدق بكثير من هذه المستويات. وتقع محطة التحكم الرئيسية في موسكو بينما توجد ٤ محطات مراقبة أخري داخل الأراضي الروسية. وقد أثرت الأزمات المالية - في روسيا - بشدة علي استكمال خطوات تطوير جلوناس مما لم يجعل النظام يصل لحالته النهائية الكاملة.



شكل (٦-٢٥) أحد الأقمار الصناعية في نظام جلوناس

<u>٦-٤-٢ النظام الأوروبي جاليليو:</u>

في عام ١٩٩٩ تم اقتراح إقامة نظام جاليليو كمشروع مشترك بين الاتحاد الأوروبي EU و وكالة الفضاء الأوروبية ESA كبديل مدني تديره جهة مدنية بعكس وزارتي الدفاع اللتين تديران كلا من الجي بي أس و جلوناس. كما أن مشروع نظام ملاحي فضائي بهذا الحجم سيتيح قدرات هائلة للصناعة في الدول الأوروبية التي تشترك في تنفيذه ، حيث من المتوقع أن يتيح المشروع وظائف لحوالي ١٠٠ ألف شخص في أوروبا ، وسيكون العائد الاقتصادي للنظام

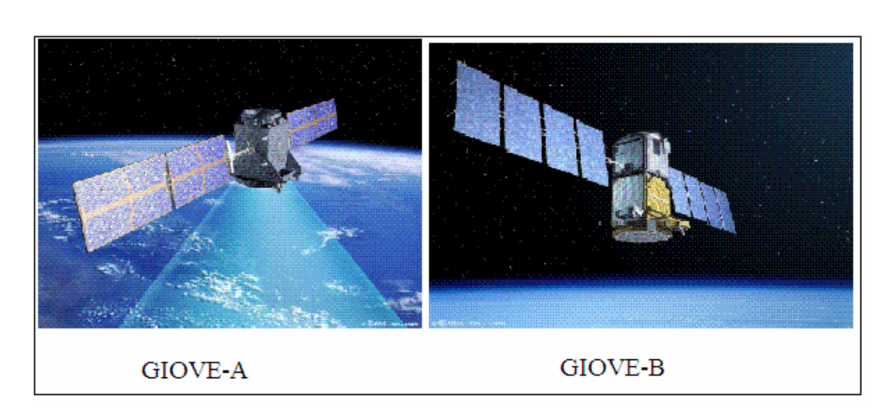
ضخما حيث سيبلغ عدد مستخدميه ٣.٦ مليون مستخدم حتى عام ٢٠٢٠ (١٤٤١ هـ). كما تم السماح لعدة دول غير أوروبية (مثل الصين و كوريا الجنوبية و إسرائيل و المغرب و السعودية) بالمشاركة في تطوير جاليليو عن طريق المساعدات المادية أو الصناعية أو البحثية. اكتملت الدراسات التقنية المبدئية لهذا المشروع العملاق ، وبدأت مرحلة التطوير في عام ٢٠٠١ ، ومن المتوقع اكتمال النظام في عام ٢٠١٥.

سيتكون نظام جاليليو من ٣٠ قمر صناعي (٢٧ قمر عامل + ٣ أقمار احتياطية) موزعين في ثلاثة مدارات تميل بزاوية ٥٦° و علي ارتفاع ٢٣٦١٦ كيلومتر من سطح الأرض، بحيث يكمل كل قمر دورة حول الأرض كل ١٤ ساعة و ٧ دقائق. وسيكون هناك مركزين أرضيين للمراقبة و التحكم في الأقمار الصناعية. ستقوم الأقمار الصناعية في نظام جاليليو ببث ١٠ إشارات: ٦ مخصصة للخدمة العامة و خدمة البحث و الانقاذ ، ٢ للخدمة التجارية ، ٢ لخدمة المرافق العامة. وستكون الإشارات في نطاقين من الترددات: ١١٦٤-١٢١٥ ميجاهرتز ، ١٥٥٩-١٥٩١ ميجاهرتز. وقد تم إطلاق أول قمر صناعي في منظومة جاليليو (GIOVE-A) في ٢٨ ديسمبر ٢٠٠٥ وكان إطلاق القمر التجريبي الثاني (GIOVE-B) في عام ٢٠٠٨ لوضع اللمسات النهائية علي النظام و مواصفاته و التأكد من تشغيله بجودة عالية (شكل ٣-٢٣).

توجد عدة خدمات (أو أنظمة) لاستخدام جاليليو:

١- الخدمة المفتوحة (Open Service (OS وهي الخدمة المجانية المتاحة لجميع المستخدمين في العالم والتي من المتوقع أن تكون دقتها في حدود ٤ متر أفقيا و ٨ متر رأسيا للأجهزة ثنائية التردد.
٢- خدمة سلامة الأرواح (Safety of Live Service (SoL وتتميز عن الخدمة المفتوحة بإرسال رسائل وقتية (إنذارات) للمستخدم في حالة حدوث أي مشاكل في النظام لا تسمح بضمان دقة الإحداثيات المحسوبة،
٣- الخدمة التجارية (Commercial Service (CR وهي خدمة تجارية باشتراك ودقتها أحسن من دقة الخدمة المفتوحة.
٤- خدمة المرافق العامة (Public Regulated Service (PRS وهي خدمة خاصة للمرافق العامة مثل الشرطة والإسعاف و المطافي وخاصة في أوقات الطوارئ أو الحروب حيث من الممكن أن تتأثر الخدمة العامة.

٥- خدمة البحث و الإنقاذ Search and Rescue Service (S&R) وهي خاصة ستضاف للنظم العالمية الموجودة حاليا لتحسن من دقتها في أعمال الإغاثة والإنقاذ.



شكل (٦-٢٦) الأقمار التجريبية في نظام جاليليو

٦-٤-٣ النظام الصيني بيدو:

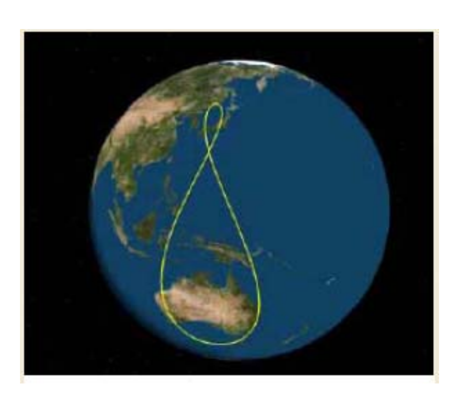
بدأ نظام بيدو Beidou (أو البوصلة) كنظام ملاحي يهدف لتغطية الصين فقط ، إلا أنه تطور لاحقا بهدف تحقيق تغطية إقليمية ثم الوصول بعد ذلك إلي التغطية العالمية. من المتوقع أن يتكون النظام من ٥ أقمار صناعية ثابتة المدار Geostationary Erath Orbit Satellites أو اختصارا GEO بالإضافة إلي ٣٠ قمرا صناعيا متوسطة المدار Medium Earth Orbiting Satellites أو اختصارا MEO موزعين في ٦ مدارات علي ارتفاع ٢١٥٠٠ كيلومتر من سطح الأرض وبزاوية ميل ٥٥°، وينتظر اكتمال هذا النظام العالمي بحلول عام ٢٠٢٠ (١٤٤١ هـ). ترسل الأقمار الصناعية إشارتها في عدد من الترددات: ١١٩٥.١٤ ، ١٢١٩.١٤ ، ١٢٥٦.٥٢-١٢٨٠.٥٢، ١٥٥٩.٠٥-١٥٦٣.١٥ ، ١٥٨٧.٦٩-١٥٩١.٧٩ ميجاهرتز. وتم إطلاق القمر الصناعي الثاني في هذا النظام الصيني في ١٤ أبريل ٢٠٠٩ ، والذي قامت الأكاديمية الصينية للفضاء و التكنولوجيا بتصنيعه. يتكون قطاع التحكم والسيطرة من ٣ محطات: محطة تحكم رئيسية ، محطة متابعة ، و محطة إرسال بيانات للأقمار الصناعية. من المتوقع أن يوفر نظام البوصلة خدماته بأسلوبين: الخدمة المفتوحة Open Service لكل المستخدمين والتي ستوفر دقة تحديد المواقع في حدود ١٠ متر ، الخدمة الخاصة Authorized Service للمستخدمين الخاصين.



شكل (٦-٢٧) إطلاق قمر صناعي صيني

٦-٤-٤ نظم ملاحية إقليمية:

بالإضافة للنظم الملاحية الأربعة (الجي بي أس و جلوناس و جاليليو و بيدو) التي لها تغطية عالمية فتوجد عدة نظم ملاحية أخري تهدف لزيادة كفاءة الملاحة بالأقمار الصناعية في مناطق محددة من الأرض. قامت اليابان بتطوير نظام QZSS (مكون من ٣ أقمار صناعية) ليغطي حدودها الإقليمية. أيضا تقوم الهند بتطوير نظام ملاحي إقليمي – يسمي IRNSS – ليتم الانتهاء منه فيما بين عامي ٢٠٠٨ و ٢٠١١ ليزيد كفاءة الملاحة في حدودها الجغرافية الإقليمية.



شكل (٦-٢٨) مجال تغطية النظام الياباني الإقليمي QZSS

٦-٥ النظم العالمية للملاحة بالأقمار الصناعية:

مع نهاية التسعينات من القرن العشرين الميلادي استأنفت روسيا إطلاق الأقمار الصناعية لنظامها العالمي جلوناس ، مما بدأ معه تفكير العلماء و المستخدمين في إمكانية استخدام كلا النظامين معا. ومنذ ذلك الحين ظهر مصطلح "النظم العالمية للملاحة بالأقمار الصناعية Global Navigation Satellite Systems" والذي عرف اختصارا باسم GNSS. وتوسع مفهوم GNSS لاحقا ليصبح إمكانية استخدام ٤ نظم ملاحية عالمية في

إطار متكامل (الجي بي أس و الجلوناس و جاليليو و بيدو). وبالطبع فأن هذه الإمكانية – عند تحقيقها الكامل قريبا- سيكون لها مميزات تقنية رائعة ، فعلي سبيل المثال سيزداد عدد الأقمار الصناعية المتاحة للرصد في أي موقع جغرافي في العالم مما سينعكس علي خفض الوقت اللازم لتجميع البيانات الحقلية وأيضا ستزيد مستويات دقة تحديد المواقع.

وسيبلغ حجم السوق المتوقع لنظم GNSS حوالي ٢٩٠ مليار دولار أمريكي بحلول عام ٢٠١٨ (١٤٣٩ هـ)، حيث بدأ بالفعل ظهور أجهزة استقبال GNSS تستطيع استقبال و التعامل مع إشارات عدة نظم (حتى الوصول لعدد ٤ نظم عالمية). فعلي سبيل المثال فقد أنتجت شركة ليكا السويسرية أول هوائي يستقبل إشارات الأقمار الصناعية للنظم الأربعة من نظم GNSS، وكذلك طورت شركة توبكون جهاز استقبال G3 وطورت شركة ترمبل جهاز R8 و الذين يستقبلان إشارات الجي بي أس و جلوناس و جاليليو. وتم حديثا إجراء عدد من الدراسات الجيوديسية التطبيقية باستخدام بيانات GNSS مثل تقييم نماذج الجيويد العالمية ، استنباط طرق جديدة عالية الكفاءة للحصول علي إشارات الأقمار الصناعية المتعددة ، الحصول علي قيم المناسيب من أرصاد GNSS .



شكل (٦-٢٩) أجهزة استقبال GNSS

٦-٦ نظم الازدياد:

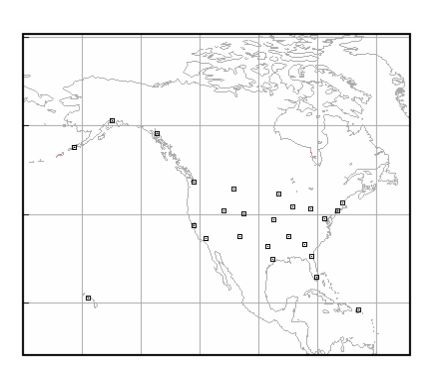
نظم الازدياد (أو التكبير أو التعزيز) Augmentation Systems هي نظم تهدف لزيادة دقة و جودة تحديد المواقع باستخدام جهاز استقبال واحد Stand-alone. المبدأ النظري وراء تطوير مثل هذه النظم يعتمد علي حساب تصحيح لإشارات الأقمار الصناعية المرصودة (يتم حسابه من خلال أجهزة تحتل نقاط معلومة الإحداثيات) وبث هذا التصحيح في نطاق منطقة

جغرافية محددة بحيث يكون جهاز الجي بي أس قادرا علي استقباله ومن ثم يقوم بتصحيح الإحداثيات التي يحصل عليها من نظام الجي بي أس. يتم بث هذه التصحيحات بعدة طرق: إما باستخدام البث الراديوي اللاسلكي ، أو بإرسال التصحيحات المحسوبة إلي أقمار صناعية خاصة والتي تعيد إرساله مرة أخري لتستقبله المستقبلات الأرضية (تسمي نظم الازدياد بالاعتماد علي الأقمار الصناعية Satellite-Based Augmentation Systems أو اختصارا SBAS)، أو عن طريق شبكات التليفون الخلوي (الموبايل أو الجوال) ، أو عن طريق شبكة المعلومات الدولية (الانترنت). كما تشمل أيضا نظم الازدياد دمج أجهزة استقبال الجي بي أس مع أنواع أخري من الأجهزة الأرضية (مثل أجهزة القصور الذاتي Inertial Sensors) التي تقوم بتحديد المواقع في حالة غياب إشارات الأقمار الصناعية مثلما يحدث في المناطق السكنية أو داخل الأنفاق في المدن الكبرى. باستخدام جهاز جي بي أس يستطيع التعامل مع نظام من نظم الازدياد يمكن حسين دقة تحديد المواقع من عدة أمتار إلي بعض عشرات من السنتيمترات فقط.

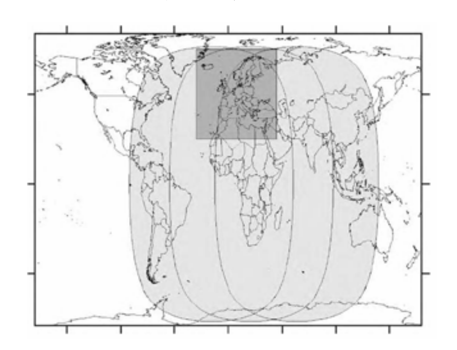
من أمثلة نظم الازدياد الموجودة في بعض الدول الأوروبية و العربية:

- نظام الازدياد للمناطق الشاسعة Wide Area Augmentation System المعروف باسم WASS والذي يغطي الولايات المتحدة الأمريكية وتديره وكالة الطيران الاتحادية الأمريكية. يتكون نظام WASS من ٢٥ محطة جيوديسية أرضية ترصد أقمار الجي بي أس وتحسب التصحيحات اللازمة لكل قمر في كل لحظة ، ثم تقوم بإرسال التصحيحات إلي المحطة الرئيسية والتي تقوم بدورها بإرساله إلي القمرين الصناعيين التابعين لمنظومة WASS ، ثم يرسل هذين القمرين التصحيحات من خلال ترددات تستطيع معظم أنواع أجهزة الجي بي أس (مستخدمي WASS) استقبالها لتصحيح مواقعها المحسوبة. تبلغ دقة تحديد المواقع باستخدام GPS/WASS أقل من ٣ أمتار باستخدام أجهزة الاستقبال الملاحية المحمولة يدويا.
- النظام الملاحي الأوروبي الثابت European Geostationary Navigation Overlay Service المعروف اختصارا باسم EGNOS وتديره هيئة الفضاء الأوروبية ويغطي قارة أوروبا، ويتيح تصحيحات – من خلال ٣ أقمار صناعية - لكلا من نظام الجي بي أس وأيضا نظام جلوناس.
- نظام الازدياد الأمريكي العسكري Wide Area GPS Enhancement أو اختصارا WAGE وتديره وزارة الدفاع الأمريكية للأغراض العسكرية فقط.

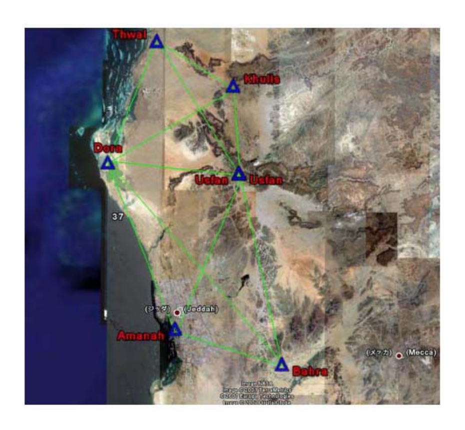
- نظام الازدياد متعدد الأغراض Multifunctional Satellite Augmentation System أو MSAS والذي تديره وزارة الأراضي و النقل في اليابان.
- نظام الازدياد لمدينة جده بالمملكة العربية السعودية والذي تديره أمانة جدة، والذي يوفر دقة أفقية في تحديد المواقع تصل إلي مستوي السنتيمتر.
- نظام الازدياد لمدينة دبي بالإمارات العربية المتحدة والذي تديره بلدية دبي ويقدم دقة ٢-٣ سنتيمتر في تحديد المواقع.
- نظام الازدياد الملاحي المصري ويسمي: الشبكة الإقليمية المصرية لتحديد المواقع بالأقمار الصناعية باستخدام الأسلوب الفرقي DGPS (تديره الهيئة المصرية لسلامة الملاحة البحرية: مصلحة المواني و المنائر المصرية سابقا) بغرض تقديم خدماته للسفن المبحرة في كلا البحرين الأحمر و الأبيض المتوسط. يتكون هذا النظام من ٧ محطات أرضية كلا منها تبث إرسالها (خدمة التصحيحات) لاسلكيا في منطقة دائرية يبلغ نصف قطرها حوالي ٢٠٠ كيلومتر.
- نظام الازدياد في مملكة البحرين ومكون من ٥ محطات.
- نظام الازدياد (تحت الإنشاء) في العراق والذي يبث تصحيحاته من خلال شبكات التليفون الجوال.



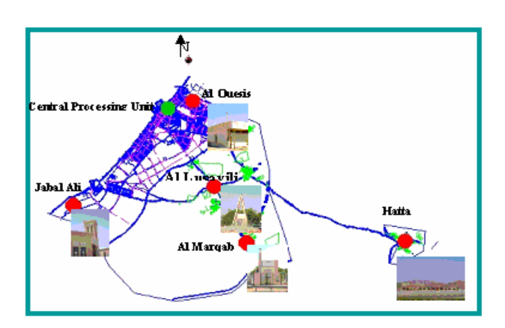
شكل (٦-٣٠) المحطات الأرضية في نظام الازدياد الأمريكي WASS



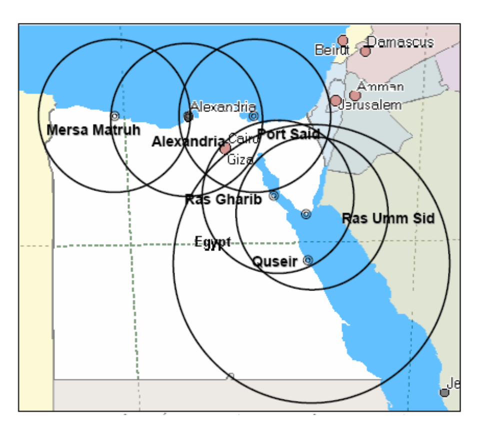
شكل (٦-٣١) مجال تغطية نظام الازدياد الأوروبي EGNOS



شكل (٦-٣٢) المحطات الأرضية في نظام الازدياد لمدينة جدة السعودية



شكل (٦-٣٣) المحطات الأرضية في نظام الازدياد لمدينة دبي الإماراتية

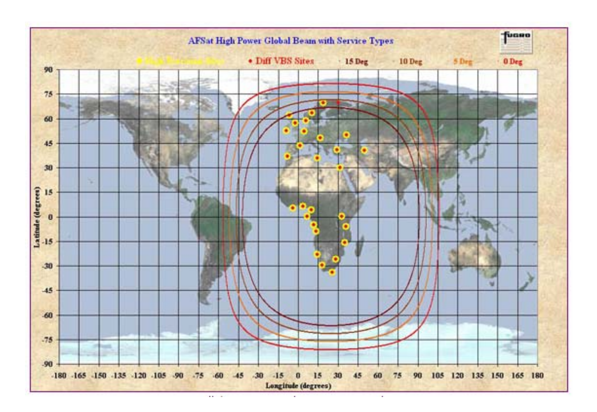


شكل (٦-٣٤) المحطات الأرضية ومجال تغطيتها في نظام الازدياد لهيئة الموانى المصرية



شكل (٦-٣٥) المحطات الأرضية في نظام الازدياد بمملكة البحرين

أيضا تجدر الإشارة لوجود نظم ازدياد تجارية (بخلاف النظم السابقة والتي عادة تكون حكومية وتقدم خدماتها مجانا للمستخدمين) ومنهم - علي سبيل المثال – نظام شركة OmniStar التي تتيح خدماتها علي المستوي العالمي مقابل اشتراكات مالية، من خلال ٣ أنواع من الخدمة: خدمة VBS بدقة أقل من متر واحد ، خدمة HP بدقة حوالي ٣٠ سنتيمتر ، خدمة XP بدقة حوالي ١٠ سنتيمتر. ويغطي أحد أقمار OmniStar المنطقة العربية كلها بحيث يتيح خدماته لكل المستخدمين بها.



شكل (٦-٣٦) تغطية نظام الازدياد OmniStar في المنطقة العربية

الفصل السابع
نظم المعلومات الجغرافية

٧-١ مقدمة

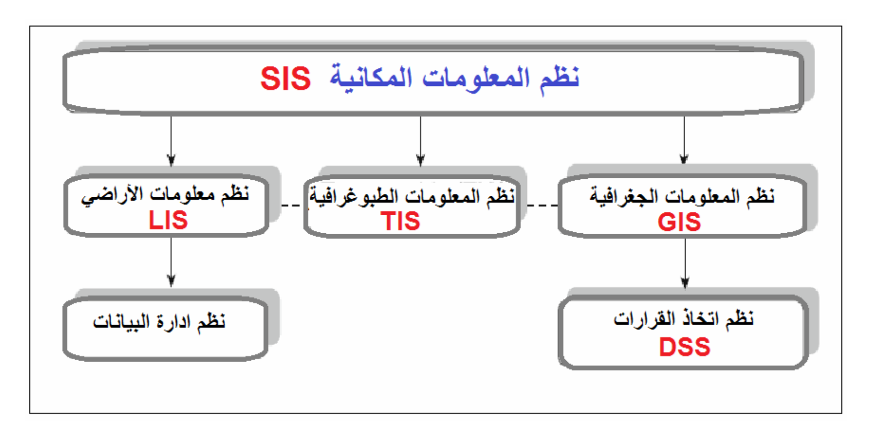
تعد نظم المعلومات الجغرافية Geographic Information Systems (أو اختصارا GIS) من أهم التقنيات التي دخلت مجال المساحة والخرائط وإدارة البيانات المكانية في النصف الأخير من القرن العشرين الميلادي، وساهمت في ابتكار العديد من التطبيقات الجديدة. فمنذ ذلك الحين وجدت الخرائط الرقمية Digital Maps والخرائط المحمولة Portal Maps مثل تلك التي أصبحت متوافرة في أجهزة الجوالات (التليفون المحمول). بل أن نظم المعلومات الجغرافية كانت أحد الأسباب التي أدت إلي ظهور علوم أو تخصصات جديدة مثل الجيوماتكس.

توجد عدة أسماء أو مصطلحات أخري لنظم المعلومات المعتمدة علي تمثيل الواقع الحقيقي لظاهرات سطح الأرض، ومنها علي سبيل المثال مصطلح نظم المعلومات المكانية Spatial Information Systems أو اختصارا SIS. ويري البعض أن هذه النظم يمكن تقسيمها الي ثلاثة أنواع فرعية طبقا لمحتوي و طبيعة البيانات المستخدمة وتشمل:

- نظم معلومات الأراضي Land Information Systems (اختصارا LIS) وتعتمد علي التعامل مع بيانات الملكيات سواء الزراعية أو العقارية بناءا علي الخرائط التفصيلية (الكادسترالية) كبيرة المقياس.
- نظم المعلومات الطبوغرافية Topographic Information Systems (اختصارا TIS) وتعتمد علي التعامل مع البيانات بأبعادها الثلاثية X,Y,Z بهدف التمثيل المجسم لظاهرات سطح الأرض.
- نظم المعلومات الجغرافية (اختصارا GIS) وهي التي تتعامل مع البيانات المكانية و غير المكانية بهدف تمثيل ظاهرات أجزاء كبيرة من سطح الأرض من خلال الخرائط الجغرافية و الموضوعية صغيرة المقياس.

ويري آخرون أن نظم المعلومات المكانية SIS - بصفة عامة - يمكن تقسيمها الي ثلاثة مستويات من حيث طبيعة تمثيل البيانات و استخدامها، وهي:

- المستوي الأول: حيث يتم تمثيل البيانات المكانية (المواقع) رقميا بهدف إنشاء الخرائط الرقمية وطباعتها لاحقا لعرض البيانات، وهذا المستوي هو الأقرب لتعريف مصطلح تطوير الخرائط الرقمية Computer Mapping.
- المستوي الثاني: حيث يتم إدارة البيانات المكانية و غير المكانية (أو البيانات الوصفية) معا في إطار متكامل وحساب و تحلي هذه البيانات بهدف اشتقاق معلومات عن طبيعة ظاهرات سطح الأرض، ويمثل هذا المستوي الحالة العامة لنظم المعلومات المكانية.
- المستوي الثالث: ويشمل كلا المستويين السابقين بالإضافة الي فهم و نمذجة طبيعة و ديناميكية الظاهرات الأرضية من خلال طرق و نماذج رياضية تسمح باتخاذ قرارات معينة في حالة حدوث سيناريوهات محددة، وهذا هو تطور نظم المعلومات المكانية الي ما يسمي نظم اتخاذ القرارات Decision Support Systems أو DSS.



شكل (٧-١) نظم المعلومات المكانية

٧-٢ نبذة تاريخية

مع ابتكار أجهزة الحاسبات الآلية ظهرت قواعد المعلومات Data Bases التي تجمع العديد من المعلومات حول هدف معين في صورة رقمية، مثل قواعد معلومات المشتركين في البنوك من أسم العميل ورقم حسابه ومعلوماته الشخصية ....الخ. ويحتاج هذا الكم الكبير من المعلومات إلي نظام لإدارة المعلومات وتصنيفها و فهرستها و ترتيبها وسرعة البحث داخلها ، ومن ثم ظهرت نظم إدارة المعلومات Management Information System وبرامجها الحاسوبية مثل Oracle and Microsoft Access.

أيضا ساعدت الحاسبات الآلية علي ابتكار برامج ووسائل تقنية لرسم الخرائط باستخدام الحاسوب وبرامج التصميم باستخدام الحاسوب Computer-Aided Design (CAD)

ومن أشهرها برنامج AutoCAD. تميزت هذه الوسائل التقنية بالقدرة العالية علي تمثيل معالم الأرض سواء في بعدين (مسقط أفقي) أو ثلاثة أبعاد (مجسمات). إلا أنها – في نفس الوقت – لم تكن لتسمح بتخزين أية معلومات أخري غير مكانية عن هذه المعالم ، فمثلا يمكن رسم تفاصيل شبكة من الطرق في مدينة معينة لكن من الصعب تخزين بيانات كل طريق (نوع الإسفلت ، تاريخ آخر معالجة للطريق ، عرض الطريق ، عدد حارات المرور بالطريق .... الخ) داخل الملف. بالتالي أصبح لدينا نوعين مختلفين من البيانات للمعالم الجغرافية: ملف مكاني (خريطة) وملف بيانات أخري غير مكانية ، وكلاهما في إطار منفصل عن الآخر. ومع انطلاق عصر الأقمار الصناعية وما توفره المرئيات الفضائية من كم هائل من المعلومات عن سطح الأرض تزايدت الحاجة لتطوير تقنية تسمح بتسجيل و تخزين هذا الكم الكبير من البيانات سواء المكانية أو غير المكانية عن موقع محدد من الأرض والمساعدة في تحليل هذه البيانات ومعرفة العلاقات المكانية بين الظواهر.

يري الكثيرون أن بداية تطور نظم المعلومات الجغرافية قد بدأت في عام ١٩٦٤م (١٣٨٤ هـ) في كندا عندما تم تطوير عملية ترقيم للخرائط (تحويلها من الصورة الورقية إلي صورة رقمية في الحاسبات الآلية) وربط هذه الخرائط الرقمية مع معلومات غير مكانية (أو معلومات وصفية) attribute data علي شكل قوائم مما أدي لإنشاء عدة طبقات للزراعة و التربة و الثروة الحيوانية و استخدامات الأراضي لمنطقة المشروع الذي أطلق عليه أسم نظام المعلومات الجغرافية الكندي. وفي نفس الوقت أيضا كانت تجري جهود مماثلة في جامعة هارفارد الأمريكية حيث تم إنشاء معمل حاسب الي متخصص في الرسومات الآلية و تحليل البيانات. وفي عام ١٩٦٩م تم تأسيس شركة معهد البحوث والنظم البيئية Environmental Systems Research Institute المعروفة باسم ESRI في الولايات المتحدة الأمريكية علي يد جاك دينجرموند لتصبح أول شركة خاصة في مجال تطوير برمجيات نظم المعلومات الجغرافية (وأشهرهم حتى الآن علي المستوي العالمي). وفي عام ١٩٧٠م عقد أول مؤتمر دولي في نظم المعلومات الجغرافية ونظمه الاتحاد العالمي للجغرافيين بدعم من منظمة العلوم والثقافة بالأمم المتحدة (اليونسكو). ومع انطلاق القمر الصناعي الأمريكي Landsat في عام ١٩٧٢م زادت الحاجة إلي نظم المعلومات الجغرافية لتخزين وتحليل وعرض هذا الكم الهائل من المعلومات عن سطح الأرض واستنباط الخرائط منها. ومع بدء العمل بالنظام العالمي لتحديد المواقع GPS في منتصف الثمانينات من القرن العشرين الميلادي أصبح تجميع القياسات الميدانية أسرع و أسهل ومن ثم زاد انتشار و تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية. ومن هنا بدأت

العديد من الجامعات في تدريس هذه التقنية الجديدة (أو هذا التخصص العلمي الجديد) وتطبيقها في العديد من العلوم الهندسية و الجغرافية و الزراعية و البيئية.

٧-٣ ماهية نظم المعلومات الجغرافية

لا يوجد تعريف محدد لنظم المعلومات الجغرافية ويرجع السبب في ذلك إلي انتشار تطبيق هذه التقنية في العديد من المجالات سواء الحاسوبية أو الهندسية أو الجغرافية أو الزراعية أو البيئية .... الخ ، وبالتالي فكل فريق يقدم تعريفا لنظم المعلومات الجغرافية طبقا لمفهومه و طريقة تطبيقه واستفادته من هذه التقنية. ومن هذه التعريفات:

تعريف Smith 1987: نظام المعلومات الجغرافي هو نظام قاعدة المعلومات الذي يحتوي علي معلومات مكانية مرتبة بالإضافة لاحتوائه علي مجموعة من العمليات التي تقوم بالإجابة علي استفسارات عن زاهرة مكانية من قواعد المعلومات.

تعريف Parker 1988: نظم المعلومات الجغرافية هي نظم تكنولوجية للمعلومات تقوم علي تخزين و تحليل و عرض المعلومات المكانية وغير المكانية.

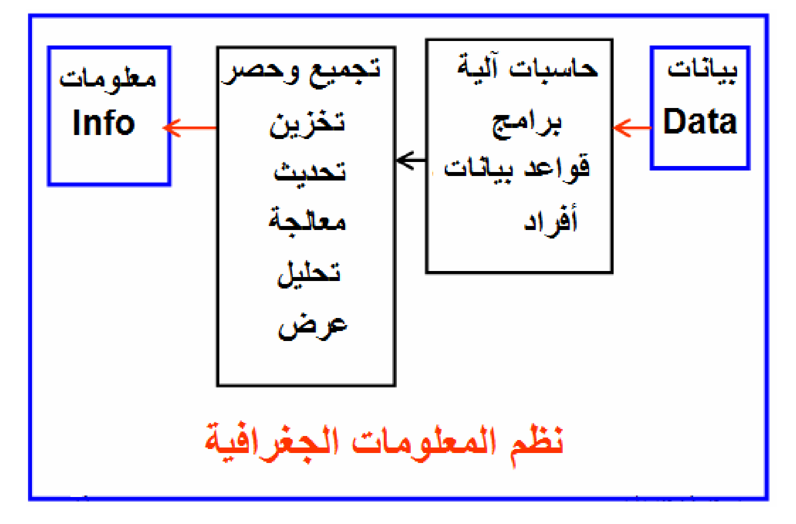
تعريف Devine and Field 1986: نظم المعلومات الجغرافية هي نمط من نظم المعلومات يتيح عرض خرائط المعلومات عامة.

تعريف Zoeltz 1989: يتشعب مفهوم نظم المعلومات الجغرافية في شقين أحدهما البرامج وكيفية حصر المعلومات و تخزينها و معالجتها للاستفادة منها لتحقيق هدف معين والآخر قاعدة معلومات تعتمد علي الإحداثيات الجيوديسية التي تسهل التعامل معه.

تعريف Cowen 1988: نظم المعلومات الجغرافية هي نظم دعم القرار بواسطة دمج المعلومات المكانية لخدمة حل القضايا البيئية.

تعريف مؤسسة ESRI 1990: نظم المعلومات الجغرافية هي مجمع متناسق يضم مكونات الحاسب الآلي و البرامج و قواعد البيانات والأفراد المدربين ويقوم هذا المجمع بحصر دقيق للمعلومات المكانية و غير المكانية و تخزينها و تحديثها و معالجتها و تحليلها و عرضها.

وربما يكون تعريف مؤسسة ESRI هو الأعم و الأشمل الذي يقدم صورة عامة واضحة عن مكونات و أهداف نظم المعلومات الجغرافية.



شكل (٧-٢) نظم المعلومات الجغرافية

نظم المعلومات الجغرافية مبنية – في جزء كبير منها - علي أساسيات عدد من العلوم الأخرى التي يجب أن يلم بها المتخصص في نظم المعلومات الجغرافية ومنها علوم المساحة الأرضية ، المساحة التصويرية سواء الجوية أو الاستشعار عن بعد ، الإحصاء ، علوم الحاسب الآلي ، الجغرافيا ، و علم الخرائط أو الكارتوجرافيا.

يختلف الكثيرون في تحديد ما إذا كانت نظم المعلومات الجغرافية علما أم مجرد تقنية. يري البعض أنها علما يقع بين منطقة التداخل بين عدة علوم أخري مثل المساحة و الحاسب الآلي والإحصاء و الجغرافيا. كل مفتاح يتم النقر عليه في أي برنامج من برامج نظم المعلومات الجغرافية ما هو إلا تنفيذ مجموعة من الخطوات التي يرجع أصلها إلي واحدة من العلوم المذكورة. فعلي سبيل المثال فأن أمر "تغيير المسقط" داخل برنامج نظم المعلومات الجغرافية قائم علي تنفيذ مجموعة من المعادلات المساحية الرياضية (المساحة الجيوديسية) التي تحدد خطوات حساب تغيير مسقط الخريطة Map Projection من نوع لأخر وكذلك معادلات نقل الإحداثيات من مرجع جيوديسي لأخر. بناءا علي ذلك فان نظم المعلومات الجغرافية تكون – من وجهة نظر من يقوم بتطويرها وابتكار أدوات جديدة بداخلها – علما من العلوم الحاسوبية و المعلوماتية. علي الجانب الأخر فان من يقوم باستخدام برامج نظم المعلومات الجغرافية – كما هي - في مجال تخصصه ينظر إليها علي أنها تقنية جديدة تساعده في تطبيقات عملية في مجال عمله و هؤلاء هم مستخدمي نظم المعلومات الجغرافية.

النظرة العامة لتطبيق نظم المعلومات الجغرافية أنها تقدم لمستخدميها الإجابة علي خمسة أسئلة للوصول لإجابات تناقش كلا من: الموقع Location والشرط Condition و المنحي Trend و النمط Pattern و النموذج Model.

(أ) الموقع: ماذا يوجد في موقع محدد؟ تجيب نظم المعلومات الجغرافية بعرض بيانات (خريطة وبيانات وصفية) للمظاهر الموجودة في مكان محدد.

(ب) الشرط: أين يقع هذا المطلوب؟ تجيب نظم المعلومات الجغرافية بتحديد المواقع التي يتوافر بها شروط أو مواصفات معينة.

(ج) المنحي: ما الذي تغير؟ تجيب نظم المعلومات الجغرافية بتحديد حالة موقع معين في تواريخ مختلفة للتعرف عن المتغيرات الحادثة به.

(د) النمط: كيف تتوزع الظاهرات مكانيا؟ تجيب نظم المعلومات الجغرافية بتحديد نمط توزيع ظاهرة معينة في بقعة جغرافية محددة.

(ذ)النموذج: ماذا لو؟ تجيب نظم المعلومات الجغرافية بصياغة ظاهرة طبيعية و فهم تواريخها و أماكن حدوثها بحيث يمكن التنبؤ بالتغيرات التي قد تطرأ عليها.

وتتميز نظم المعلومات الجغرافية بالعديد من المميزات التي تشمل:

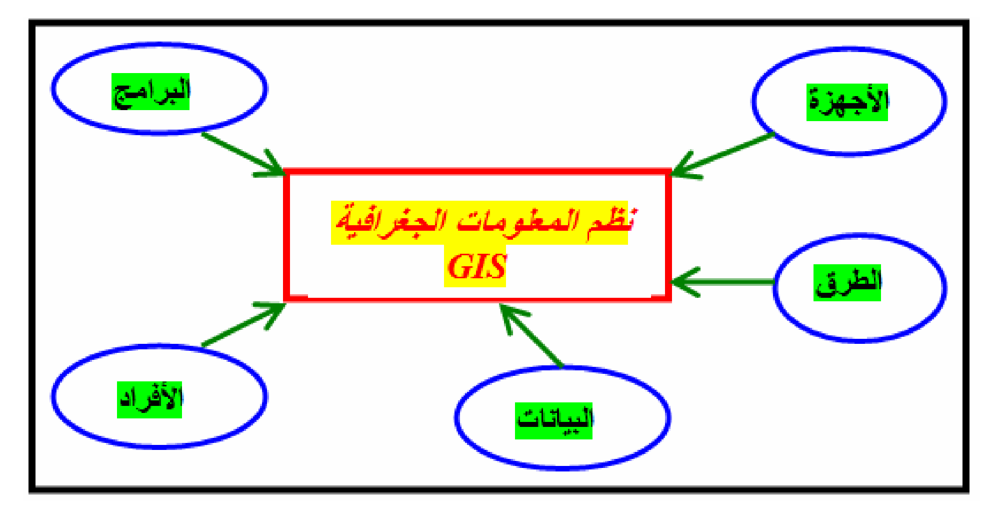
- دمج المعلومات المكانية وغير المكانية في قاعدة معلومات واحدة.
- القدرة العالية علي تحليل البيانات المكانية وغير المكانية.
- سرعة الوصول لكم كبير من المعلومات بفاعلية عالية.
- سهولة العمل و توفير الوقت.
- توثيق البيانات بمواصفات محددة.
- القدرة علي التمثيل المرئي للمعلومات المكانية.
- القدرة علي الإجابة علي الاستعلامات و الاستفسارات الخاصة بالمكان أو معلوماته الوصفية.
- المساعدة علي اتخاذ القرار في أسرع وقت.
- نشر المعلومات لقاعدة كبيرة من المستفيدين.
- التخطيط الدقيق للمشروعات الجديدة و التوسعية.
- التنبؤ و التوقع المستقبلي.
- التنسيق بين الجهات ذات العلاقة قبل اتخاذ القرار.

وتستخدم نظم المعلومات الجغرافية في العديد من المجالات منها:

- المساحة و تطوير الخرائط الرقمية بكافة أنواعها الهندسية و الجيولوجية و الزراعية .....الخ.
- دراسات سطح الأرض ومظاهرها و استخداماتها و ملكياتها.
- الخدمات العامة وتخطيط شبكات المياه و الكهرباء و الهاتف و المواصلات و النقل ....الخ.
- علوم الأرض والجيولوجيا و استكشاف الموارد الطبيعية من معادن و بترول و غاز ومياه جوفية ....الخ.
- المجالات الحيوية و البيئية والزراعية.
- الخدمات البشرية التاريخية و الأثرية والسياحية وخدمات الطوارئ من إسعاف و دفاع مدني.
- البنية التحتية في المدن و التجمعات السكنية.
- التخطيط العمراني و المدني و الإقليمي.
- الاستخدامات العسكرية و الأمنية.

٧-٤ مكونات نظم المعلومات الجغرافية

يتكون نظام المعلومات الجغرافية من خمسة مكونات أساسية تشمل البيانات و الأجهزة و البرامج والطرق والأفراد.



شكل (٧-٣) مكونات نظم المعلومات الجغرافية

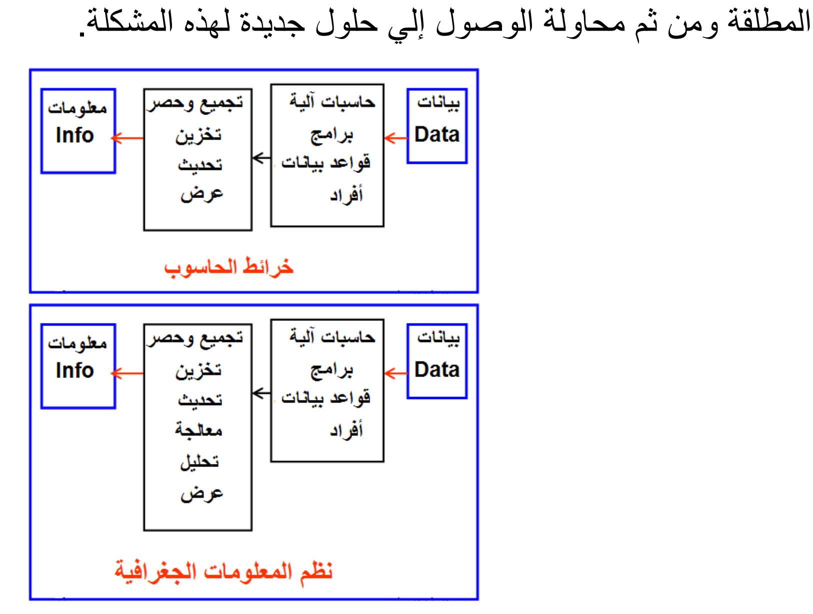
تنقسم البيانات في نظم المعلومات الجغرافية إلي: (١) بيانات مكانية Spatial Data تعبر عن مواقع (إحداثيات) الظواهر المكانية و (٢) بيانات غير مكانية أو بيانات وصفية Attribute Data والتي تشمل كافة البيانات المتعلقة بالموقع بخلاف إحداثياته. فمثلا عند إنشاء نظام معلومات جغرافية للمدارس في مدينة ما فأن البيانات المطلوبة ستتكون من إحداثيات موقع كل مدرسة (بيانات مكانية) و البيانات الوصفية لكل مدرسة مثل أسمها و مرحلتها الدراسية وعدد طلابها و عدد معلميها .... الخ. يتم الحصول علي البيانات المكانية من خلال عدد من الوسائل تشمل: الرفع المساحي الأرضي ، قياسات النظام العالمي لتحديد المواقع GPS ، الخرائط والمخططات الهندسية المتوفرة للمنطقة ، الصور الجوية و المرئيات الفضائية. بينما يتم الحصول علي البيانات الوصفية (غير المكانية) من عدة مصادر مثل: الخرائط ، الصور الجوية و المرئيات الفضائية ، الإحصائيات و التقارير الحكومية، الوسائط المتعددة من أفلام و صور فوتوغرافية ، الزيارات الميدانية.



شكل (٧-٤) مصادر البيانات في نظم المعلومات الجغرافية

تنوع البيانات إلي مكانية و غير مكانية هو الفرق الرئيسي بين تقنيتي الخرائط الرقمية Computer Mapping و نظم المعلومات الجغرافية. ففي الخرائط الآلية أو الرقمية فالبرامج (مثل برنامج الأوتوكاد AutoCAD الشهير) تتعامل مع البيانات المكانية فقط لرسم الخريطة والتصميم باستخدام الكمبيوتر. بينما تتعامل برامج نظم المعلومات الجغرافية مع الخرائط الرقمية (البيانات المكانية) بالإضافة لقواعد البيانات غير المكانية مما يتيح عدة مميزات لهذه البرامج في الربط بين كلا نوعي البيانات وإمكانيات التحليل الإحصائي و المكاني للبيانات. إن الهدف الرئيسي من تقنية الخرائط الرقمية هو استخدام الأجهزة الحديثة لإعداد نسخة رقمية من بيانات تم الحصول عليها من خرائط قديمة (مطبوعة كانت أو رقمية) أو من

مرئيات فضائية و صور جوية أو بيانات تم قياسها في الطبيعة (بأجهزة المساحة الأرضية أو أجهزة النظام العالمي لتحديد المواقع المعروف باسم GPS) ثم تخزين كل هذه البيانات المتعددة في بيئة رقمية داخل الكمبيوتر لكي يتم إعداد خريطة رقمية تمثل معالم المنطقة المطلوب دراستها. أما تقنية نظم المعلومات الجغرافية GIS فتشمل كل ما سبق – الخرائط الرقمية – بالإضافة إلي معالجة البيانات (تنفيذ عمليات حسابية و إحصائية لاشتقاق معلومات جديدة) ثم تحليل هذه البيانات (تحليلا إحصائيا و تحليلا مكانيا) بهدف دراسة مشكلة معينة في موقع جغرافي محدد بهدف الوصول إلي فهم توزيع الظاهرة قيد الدراسة سواء مكانيا أو في قيمتها المطلقة ومن ثم محاولة الوصول إلي حلول جديدة لهذه المشكلة.



شكل (٧-٥) نظم المعلومات الجغرافية والخرائط الرقمية

يتطلب إنشاء نظام معلومات جغرافية عددا من الأفراد المدربون تقنيا علي استخدام الأجهزة و البرامج بكفاءة. تتعدد وظائف فريق نظم المعلومات الجغرافية لتشمل: مدخل بيانات، مرقم أو راسم خرائط،، مبرمج نظم، محلل نظم، مدير قواعد بيانات، مدير نظام معلومات جغرافي. أي أن نظام المعلومات الجغرافية يحتاج عددا من التخصصات التي تشمل مهندسي المساحة والجغرافيون ومبرمجي الحاسبات الآلية ومتخصصي قواعد البيانات الرقمية.

أما مصطلح الطرق أو المناهج - المستخدم كأحد مكونات نظم المعلومات الجغرافية- فيعود إلي الأعمال النظامية المتعلقة بادرة و تطوير النظام والتي لا تتعلق بالجانب التقني له. تشمل الطرق إدارة المشروعات وتدريب الموارد البشرية و الجوانب المالية و القانونية المتعلقة بنظام المعلومات الجغرافية.

٧-٤-١ أجهزة نظم المعلومات الجغرافية

تشمل الأجهزة أو العتاد Hardware اللازمة لنظم المعلومات الجغرافية: (١) أجهزة الحاسبات، (٢) أجهزة إدخال Input، (٣) أجهزة إخراج Output. تتعدد أجهزة الحاسبات بين أجهزة حاسبات شخصية PC أو أجهزة محطات العمل Work Stations ذات المواصفات و القدرات التقنية العالية من حيث سرعة المعالجات Processors Speed و قدرات التخزين.

تشمل أجهزة إدخال البيانات عدة أنواع منها:

- لوحة المفاتيح
- الفارة أو الماوس
- الفلاش والأقراص المدمجة CD or DVD
- القلم الضوئي
- الكاميرا الرقمية
- الميكروفون
- أجهزة المساحة سواء الأرضية أو الجيوديسية (مثل الميزان الرقمي و الثيودليت الرقمي و المحطة الشاملة و أجهزة GPS) التي تتصل مباشرة بالحاسب الآلي ومن ثم تفريغ كل القياسات الحقلية مباشرة للكمبيوتر.
- طاولة الترقيم أو المرقم Digitizer: لوحة تشبه لوحة الرسم لكنها تحتوي علي شبكة الكترونية أسفلها بحيث تمثل شبكة إحداثيات (س،ص) تغطي الطاولة، بالإضافة للمرقم وهو فأرة أو ماوس من نوع خاص متصل بالطاولة إما سلكيا أو لاسلكيا وتكون طاولة الترقيم متصلة بالحاسب الآلي بكابل. تعتمد فكرة عمل طاولة الترقيم علي استشعار موقع المرقم بالنسبة للطاولة وتحديد إحداثياته ونقلها إلي الحاسب الآلي. إذا تم وضع خريطة علي طاولة الترقيم (نتخيل أننا وضعنا شفافة فوق الخريطة) فأننا نستخدم المرقم كما لو كان قلم رصاص (أو مرسمه) لرسم نسخة من الخريطة. يتم نقل إحداثيات كل نقطة يمر عليها المرقم – من خلال الضغط علي زر من مفاتيح المرقم – إلي الحاسب الآلي ، وتستمر هذه العملية إلي أن يتم رسم كافة تفاصيل المعالم الموجودة علي الخريطة الأصلية ومن ثم نحصل علي نسخة الكترونية أو رقمية منها. قد تكون

طاولة الترقيم صغيرة الحجم لترقيم الخرائط الصغيرة بحجم A4 or A3 أو قد تكون طاولة كبيرة لترقيم الخرائط الكبيرة بحجم A0.

- الماسح الضوئي Scanner: جهاز يشبه آلة تصوير المستندات من حيث أنه يغطي الخريطة بأشعة ضوئية لنسخها لكنه يرسل النتيجة إلي الحاسب الآلي وليس طباعتها علي الورق. تعتمد فكرة عمل المرقم علي تسجيل الانعكاس الضوئي من الخريطة الأصلية وإرسال هذه القيم للحاسب الآلي ليستطيع ترجمتها وتجميعها ليكون نسخة رقمية من الخريطة الأصلية. توجد عدة أنواع من الماسحات الضوئية تختلف من حيث الحجم و الإمكانيات التقنية. بعض الماسحات تستطيع التفرقة بين الظواهر المرسومة علي الخريطة الأصلية (من اختلاف انعكاسها الضوئي بكل دقة) ومن ثم يمكنها رسم الخريطة الرقمية مكونة من عدد من الظاهرات (خطوط و مضلعات و نقاط)، لكن هذا النوع من الماسحات الضوئية مرتفع الثمن جدا. أما المسحات الضوئية البسيطة تقنيا ورخيصة الثمن فهي لا تستطيع التفرقة بين قيم الانعكاس الضوئي بدقة عالية وبالتالي فهي تكون صورة من الخريطة الأصلية لكنها لا تفرق بين نوع ظاهرة وأخري علي الخريطة (أي أنها كما لو كانت مجرد صورة فوتوغرافية من الخريطة الأصلية). أما من حيث الحجم فتوجد ماسحات ضوئية صغيرة ورخيصة لمسح الخرائط من مقاس A4 or A3 كما توجد ماسحات ضوئية كبيرة الحجم للخرائط من مقاس A0.



شكل (٧-٦) بعض أجهزة إدخال البيانات في نظم المعلومات الجغرافية

ومع أن الماسحات الضوئية ذات المواصفات التقنية العالية تعد أسهل وأسرع في التعامل مع الخرائط الورقية وتحويلها إلي خرائط رقمية مباشرة مع التمييز بين كل ظاهرة و

أخري، إلا أنها مرتفعة الثمن وقد لا تناسب كل مستخدمي نظم المعلومات الجغرافية. أيضا فمن عيوب طاولات الترقيم أنها متصلة بحاسب إلي واحد ولا يمكن نقل الطاولة من مكان لأخر مما يجعل عملية الترقيم ذاتها عملية متعبة و بطيئة. من هنا تم ابتكار أسلوب الترقيم من علي الشاشة On-Screen Digitizing ليجمع بين مميزات كلا الجهازين لكن بأسلوب رخيص الثمن. في هذا الأسلوب يتم استخدام الماسحات الضوئية البسيطة في الحصول علي صورة من الخريطة الأصلية (سيتعامل معها الحاسب علي أنها مجرد صورة لا يستطيع التفرقة بين معالمها) ويتم وضع هذه الصورة علي الشاشة ثم استخدام فأرة الكمبيوتر (الماوس) كما لو كان قلم رصاص (مرسمه) لشف كل معلم من معالم صورة الخريطة ورسمه بكل دقة في ملف رقمي يعطي الخريطة الرقمية بكفاءة.

أيضا تتعدد أجهزة إخراج البيانات في نظم المعلومات الجغرافية وتشمل:

- الشاشة
- السماعات
- الفلاش والأقراص المدمجة CD or DVD
- الطابعات Printers
- الراسمات (طابعات الخرائط) Plotters



شكل (٧-٧) بعض أجهزة إخراج البيانات في نظم المعلومات الجغرافية

٧-٤-٢ برامج نظم المعلومات الجغرافية

تتعدد برامج نظم المعلومات الجغرافية GIS Software لتشمل عدد كبير من البرامج التجارية المتاحة في الأسواق. لكن ربما يعد برنامج Arc GIS من إنتاج شركة ESRI هو الأشهر خاصة في المنطقة العربية. كما أنتجت شركة AutoDesk صاحبة برنامج الرسم والتصميم الشهير AutoCAD برنامجها لنظم المعلومات الجغرافية المسمي AutoCAD

Map 3D. كما تحتل برامج GeoMedia و Map Info مكانة متقدمة في برامج نظم المعلومات الجغرافية.

وفي الفترة الأخيرة بدأ ظهور برامج نظم معلومات جغرافية مفتوحة المصدر Open Source وهي برامج غير تجارية يتعاون بعض مصممي البرامج و المتخصصين من عدة تخصصات علمية في تطويرها مع إتاحة برامج التشغيل الأساسية لها Source Codes لكافة المستخدمين بحيث يكون لديهم إمكانية تطوير البرنامج ذاته وإضافة أدوات جديدة له كلا حسب تخصصه و استخداماته. ومن هذه البرامج مفتوحة المصدر برنامج Map Window وبرنامج Quantum وبرنامج GRASS.

يأتي برنامج Arc GIS في ثلاثة مستويات تقنية من حيث الإمكانيات الفنية: المستوي الأساسي المعروف باسم Arc View ، المستوي القياسي المعروف باسم Arc Editor، ثم المستوي الأكثر تقدما والشامل لجميع الإمكانيات الفنية والمعروف باسم Arc Info. والنسخة الحالية من Arc GIS هي الإصدار العاشر. يتكون Arc GIS من عدد من البرامج تشمل:

- برنامج Arc Map لتحرير البيانات والتحليل ورسم الخرائط.
- برنامج Arc Catalogue لإدارة الملفات من نسخ و حذف و إنشاء ... الخ.
- برنامج Arc Toolbox الذي يضم أدوات تحليل و معالجة البيانات وأدوات تخصصية في كافة التخصصات مثل الهيدرولوجي و الخرائط ومعالجة المرئيات.
- برنامج Arc Object للبرمجة programming وإعداد أدوات جديدة داخل Arc GIS باستخدام لغة Visual Basic Application (VBA).
- برنامج Arc Globe لعرض البيانات العالمية ثلاثية الأبعاد (الضخمة) علي المستوي العالمي.
- برنامج Arc Scene للعرض التفاعلي المتحرك للبيانات مثل الطيران التخيلي فوق منطقة معلوم لها أبعادها الثلاثية 3D Animation.

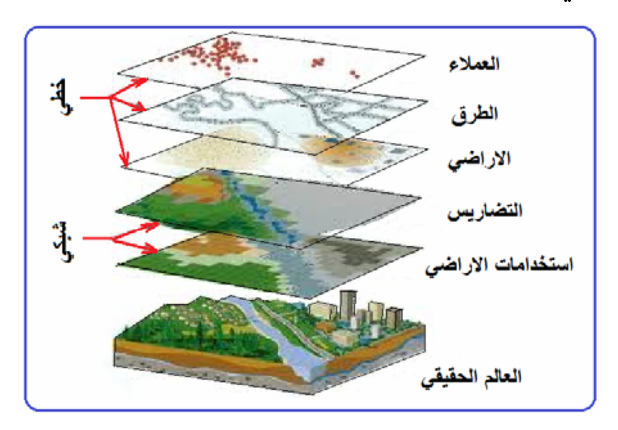
كما توجد برامج أخري من شركة ESRI مثل:

- برنامج Arc Reader وهو برنامج مجاني لعرض ملفات نظم المعلومات الجغرافية التي تم تطويرها ببرنامج Arc GIS.

- برنامج Arc IMS (تغير أسمه إلي ArcGIS Server) لتبادل ومشاركة بيانات نظم المعلومات الجغرافية علي الانترنت بين عدد من المستخدمين.
- برنامج Arc Publisher لعرض البيانات علي الانترنت حتى لمن ليس لديهم البرنامج الأصلي Arc GIS.
- برنامج Arc PAD للأجهزة المحمولة سواء الجوالات (الموبايل) أو أجهزة ipad.

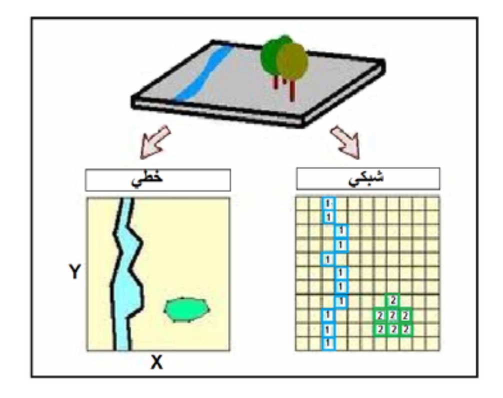
٧-٥ تمثيل البيانات فى نظم المعلومات الجغرافية

يقوم نظام المعلومات الجغرافية بتمثيل الظاهرات الموجودة في بقعة معينة من سطح الأرض من خلال عدة ملفات أو ما يعرف باسط الطبقات Layers. تكون كل طبقة ممثلة لنوع محدد من الظاهرات الجغرافية، فعلي سبيل المثال عند تمثيل حي من أحياء مدينة معينة فأننا نقوم برسم الشوارع في طبقة و المباني السكنية في طبقة ثانية و الأشجار في طبقة ثالثة .... الخ ، فإذا قمنا بعرض كل هذه الطبقات علي الشاشة في نفس الوقت فأننا نحصل علي تمثيل للواقع الحقيقي الموجود في هذه المنطقة.



شكل (٧-٨) تمثيل البيانات في نظم المعلومات الجغرافية

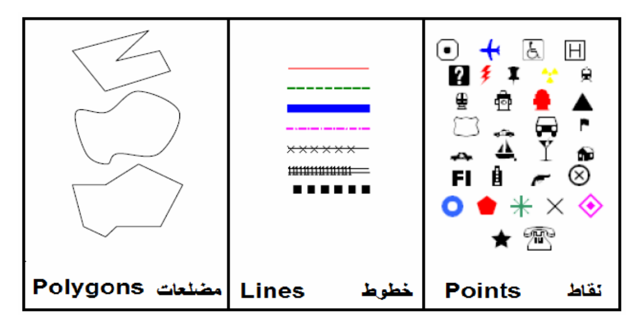
ويتم تمثيل البيانات في نظم المعلومات الجغرافية من خلال نموذجين: (١) البيانات الخطية أو الاتجاهية Vector Data، (٢) البيانات الشبكية أو الخلوية Raster Data.



شكل (٧-٩) أنواع البيانات في نظم المعلومات الجغرافية

نموذج البيانات الخطية Vector هو تمثيل كافة ظاهرات طبقة من خلال سلسلة متتابعة من الإحداثيات كما في الخريطة الورقية. فالنقطة عبارة عن إحداثيين س،ص لموقع محدد وليس لها مساحة أو بعد، بينما الخط عبارة عن سلسلة من النقاط المحددة الإحداثيات وله بعد (طول) وليس له مساحة، بينما المضلع عبارة عن ظاهرة معينة تنتشر في مساحة محددة ويحيط بها خط. وبالتالي فأن نموذج البيانات الخطية يتكون من ثلاثة أنواع من طرق تمثيل الظاهرات إما في نقطة Point أو خط Line or Arc أو مضلع Polygon. قد تختلف طريقة تمثيل نفس الظاهرة بناءا علي مقياس الرسم المستخدم وحدود المنطقة الممثلة في الطبقة، فعلي سبيل المثال فأن كل حي في مدينة معينة سيتم تمثيله كمضلع عند رسم طبقة لتفاصيل هذه المدينة بينما سيتم رسم المدينة كلها كنقطة عند تمثيل الدولة ككل في طبقة.

يتميز نموذج البيانات الخطية بالعديد من المميزات أهمها: (١) الدقة في تمثيل مواقع الظاهرات، (٢) حجم تمثيل البيانات لا يتطلب مساحة تخزين كبيرة في الحاسوب سواء في الذاكرة RAM أو القرص الصلب Hard Disk، (٣) سهولة إجراء العمليات الحسابية مثل الطول و المساحة و المحيط، (٤) إمكانية تصحيح المعلومات التي تم إدخالها أولا بأول. لكنه – في المقابل – يعاني من عيبين أساسين وهما انه يتطلب جهدا ووقتا كبيرا في إدخال البيانات كما انه يتطلب خبرة جيدة ودقة عالية لمدخل البيانات ذاته. ومع ذلك فأن نموذج البيانات الخطية هو الأكثر استخداما في نظم المعلومات الجغرافية وخاصة في التطبيقات المساحية و الهندسية بصفة عامة.



شكل (٧-١٠) النموذج الخطي لتمثيل البيانات في نظم المعلومات الجغرافية

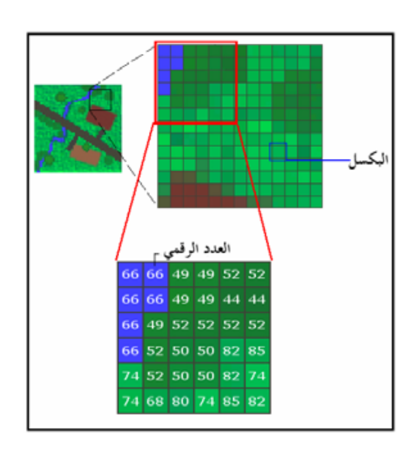
يعد مفهوم العلاقات المكانية أو الطبولوجي Topology من المفاهيم الهامة في النموذج الخطي لتمثيل البيانات، فالطبولوجي فرع من الرياضيات يعالج علاقات الجوار المتواجدة بين الأشكال الهندسية وهي العلاقات التي تسمح بالمحافظة علي التحام و تماسك المعالم من خلال استبعاد اي ازدواجية في الخطوط و السلاسل و النقاط. إن العلاقات المكانية لمعلم معين تكمل وصفه الهندسي (شكله و موقعة و أبعاده) حيث تصغ علاقات هذا المعلم والروابط التي تربطه مع المعالم الأخرى المحيطة به. وتتكون العلاقات المكانية من خلال مكونات بسيطة تشمل: العقد Nodes وهي بداية أو نهاية الخط أو السلسلة، السلاسل Chains والتي تشبه الخطوط حيث تبدأ السلسلة من عقدة و تنتهي بعقدة أخري، وتستخدم في تعيين حدود منطقة ما أو مضلعات أو خطوط، المضلعات Polygons وهي حلقات مغلقة حيث تتكون الحلقة من عدة سلاسل متصلة مع بعضها. وتشمل العلاقات المكانية: علاقات الارتباط أو الاتصال Connectivity والتي تحدد أيا من السلاسل مرتبطة بأي من العقد، علاقات الاتجاه Direction والتي تعرف الاتجاه من عقدة الي عقدة أخري في سلسلة، علاقات الجوار Adjacency والتي تحدد أيا من المضلعات علي يسار أو يمين السلسلة، علاقات الاحتواء Nested والتي تحدد المعالم المكانية (عقدة أو سلسلة أو مضلعات) الواقعة داخل مضلع معين.

المكونات المكانية	الشكل الهندسي	الشكل الطبولوجي
نقاط	نقطة	عقدة
خطوط	قطعة مستقيمة	وصلة موجهه (رابط)
	خط منكسر	سلسلة
	قوس	سلسلة قوس
	خط منكسر مغلق	سلسلة كاملة
مضلعات	مضلع مغلق	مضلع مكون من سلاسل

شكل (٧-١١) مفهوم العلاقات المكانية أو الطبولوجي

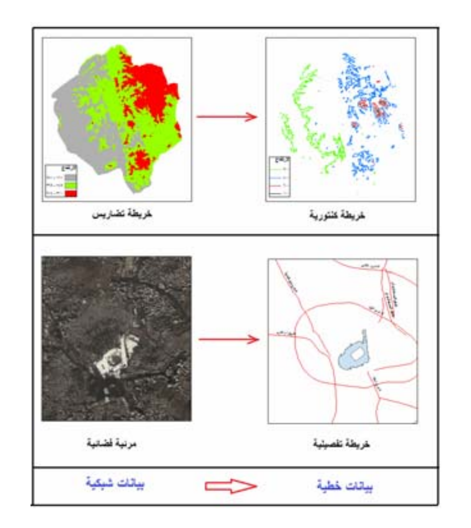
أما نموذج البيانات الشبكية Raster فيعتمد علي فكرة وجود شبكة من المربعات موضوعة علي خريطة ، فإذا انطبق احد المربعات علي نوع معين من الظاهرات فسيحمل هذا المربع رقما يماثل في قيمته كافة نظائره من المربعات التي انطبقت علي نفس الظاهرة. إما إذا انطبق احد مربعات الشبكة علي ظاهرة ثانية في الخريطة فسيحمل هذا المربع رقما ثانيا (مختلفا عن رقم الظاهرة الأولي). وهذه الفكرة تماثل مبدأ التصوير الفوتوغرافي حيث تتكون الصورة من عدد هائل من المربعات متناهية الصغر وتأخذ المربعات لون محدد لتمثيل كل ظاهرة وبالتالي تختلف ألوان الصورة طبقا لاختلاف المظاهر الممثلة عليها. كما سبق الذكر (في الصور الجوية والمرئيات الفضائية) فأن حدود المربع الواحد (أو الخلية pixel) في ملف البيانات الشبكية تحدد دقة الوضوح المكاني أو القدرة التميزية resolution لهذا الملف، فكلما صغر حجم المربع زادت قدرة الوضوح وزادت قدرة تمثيل الظاهرات.

يتميز النموذج الشبكي بقدرته علي تمثيل الظاهرات المستمرة وسرعة إدخال البيانات إلي نظام المعلومات الجغرافية، بينما تتمثل أهم عيوب هذا النموذج في انه يتطلب سعة تخزينية كبيرة وأيضا دقته البسيطة نسبيا في التمثيل المكاني إذ أنها تعتمد علي أبعاد المربع أو الخلية pixel كمل أن قدرته علي التحليل المكاني أقل من النموذج الخطي. يستخدم النموذج الشبكي في الصور الجوية و المرئيات الفضائية بصفة عامة وكذلك في الماسحات الضوئية البسيطة scanners.



شكل (٧-١٢) النموذج الشبكي لتمثيل البيانات في نظم المعلومات الجغرافية

يمكن تحويل النموذج الشبكي إلي نموذج خطي من خلال عملية vectorization والبرامج المتخصصة في ذلك مثل برنامج (R2V) Raster to Vector وكذلك عملية الترقيم من الشاشة On-Screen Digitizing السابق شرحها.



شكل (٧-١٣) التحويل بين أنواع البيانات في نظم المعلومات الجغرافية

٧-٦ دقة و مواصفات البيانات المكانية الرقمية

٧-٦-١ دقة الخريطة المطبوعة

تعد الخريطة تمثيلا حقيقيا – وان كان مصغرا – لسطح الأرض أو جزء منه، أي أن الأبعاد و المساحات للمعالم علي الخريطة لها علاقة قوية و مباشرة بالأبعاد و المساحات الحقيقية للمعالم المكانية في الطبيعة. لذلك فأن للخريطة "دقة" تعبر عن مدي الوثوق أو مدي الصحة في قياس الأبعاد علي الخريطة وتحويلها (بعد ضربها في مقياس رسم الخريطة) إلي أبعاد حقيقية في الطبيعة. تعد دقة الخريطة من أهم خصائصها ومميزاتها، فمن الخرائط التفصيلية – علي سبيل المثال – يتم حساب مساحات قطع الأراضي و من ثم تقدير ثمنها. وقد يكون الخطأ في الخريطة مكلفا جدا لملاك الأرض في المناطق الحضرية داخل المدن.

الدقة الأفقية للخريطة المطبوعة:

يمكن تعريف دقة الخريطة علي أنها تساوي قيمة الخطأ بين القياسات (الأبعاد و المساحات) علي الخريطة بعد ضربها في مقياس الرسم وبين الأبعاد الحقيقية لنفس المعالم في الطبيعة. ويعتمد تحديد دقة الخريطة علي مقياس رسم الخريطة وعلي دقة الأعمال المساحية الحقلية التي تم رسم الخريطة بناءا عليها. كلما كبر مقياس رسم الخريطة (أي صغرت مساحة المنطقة المكانية الممثلة علي الخريطة) كلما تتطلب ذلك دقة أكبر في إجراء القياسات الميدانية. فإعداد خريطة كادسترالية (تفصيلية) ذات مقياس رسم ١ : ١٠٠٠ يتطلب دقة أعلي في القياسات الحقلية من إعداد خريطة أخري ذات مقياس رسم ١ : ٥٠٠٠. علي الجانب الأخر فان

إعداد خريطة جغرافية (عامة) ذات مقياس رسم ١ : ٥٠،٠٠٠ (تغطي منطقة جغرافية كبيرة) لا يتطلب استخدام التقنيات المساحية عالية الدقة.

تقليديا كانت دقة الخرائط المطبوعة تحدد بمعادلة بسيطة وهي: ما يمثله نصف المليمتر في الطبيعة. وكان ذلك مبنيا علي أن استخدام المسطرة للقياس من علي الخريطة سيكون لأقرب نصف ملليمتر علي أقصي تقدير. فمثلا: إذا كان لدينا خريطة بمقياس رسم ١ : ١٠٠٠ فأن المليمتر علي الخريطة يمثل ١٠٠٠ ملليمتر في الطبيعة، أي يمثل ١ متر. بالتالي فأن ما يمثله النصف ملليمتر يبلغ ٠.٥ متر في الطبيعة. إذن دقة هذه الخريطة تساوي نصف متر، أي يمكن الوثوق في القياسات من الخريطة بقيمة النصف متر. وعلي الجانب الآخر فان إعداد الخريطة ذاتها (القياسات الميدانية) يجب أن يكون بدقة أحسن من دقة الخريطة وخاصة للخرائط التفصيلية ذات مقياس الرسم الكبير. ففي المثال السابق فأن إجراء القياسات الحقلية لإعداد خريطة بمقياس رسم ١ : ١٠٠٠ يجب أن يكون بدقة أحسن من دقة الخريطة ذاتها، أي بدقة أحسن (أقل) من ٠.٥ متر. وتقوم الجهات المسئولة عن إعداد الخرائط في كل دولة بتحديد مواصفات لدقة القياسات الحقلية المطلوبة لإعداد الخرائط. الجدول التالي يوضح – علي سبيل المثال - بعض قيم دقة الخرائط (ما يمثله النصف ملليمتر في العمود الثاني) و دقة القياسات الحقلية لإعداد الخرائط (العمود الثالث) في مصر.

مقياس الرسم	دقة الخريطة (بالمتر)	دقة القياسات الحقلية (بالمتر)
١ : ١٠٠٠	٠.٥	٠.٢
١ : ٢٥٠٠	١.٢٥	٠.٤
١ : ٥٠٠٠	٢.٥	١
١ : ١٠،٠٠٠	٥	٢
١ : ٢٥،٠٠٠	١٢.٥	١٢.٥
١ : ٥٠،٠٠٠	٢٥	٢٥
١ : ١٠٠،٠٠٠	٥٠	٥٠
١ : ٢٥٠،٠٠٠	١٢٥	٢٠٠
١ : ٥٠٠،٠٠٠	٢٥٠	٥٠٠
١ : ١،٠٠٠،٠٠٠	٥٠٠	١٠٠٠

ونلاحظ في الجدول أن دقة القياسات تكون أقل (أي أفضل) من دقة الخريطة المطلوبة للخرائط التفصيلية كبيرة المقياس، بينما تتساوي قيم الدقتين للخرائط متوسطة المقياس، ثم تقل دقة القياسات الحقلية عن دقة الخريطة كلما صغر مقياس الرسم (فالخرائط العامة صغيرة المقياس غير مخصصة لإجراء أية قياسات دقيقة منها).

الدقة الرأسية للخريطة المطبوعة:

هذا عن الدقة الأفقية (أي دقة قياس الأبعاد الأفقية للمعالم المكانية، أي الطول و العرض أو س،ص)، فماذا عن الدقة الرأسية؟ إذا كانت الخريطة مرسوما عليها خطوط الكنتور (خطوط تساوي الارتفاع) فأنها ستستخدم لتحديد أو استنباط قيمة المنسوب (الارتفاع عن مستوي سطح البحر) للمعالم الجغرافية الممثلة علي الخريطة. لذلك توجد مواصفات أخري لتحديد قيمة الدقة الرأسية للخرائط بناءا علي مقياس رسم الخريطة و قيمة الفاصل الكنتوري عليها (قيمة فرق المنسوب بين خطي كنتور متتاليين). الجدول التالي يوضح أيضا المواصفات المصرية للدقة الرأسية للخرائط.

مقياس الرسم	الفترة الكنتورية (بالمتر)	الدقة الرأسية للقياسات الحقلية (بالمتر)
١ : ١٠٠٠	٠.٢٥	٠.١٢
١ : ٢٥٠٠	٠.٥	٠.٢٥
١ : ٥٠٠٠	١	٠.٥
١ : ١٠،٠٠٠	٢	١.٢٥
١ : ٢٥،٠٠٠	٢.٥	٢.٥
١ : ٥٠،٠٠٠	٥	٥
١ : ١٠٠،٠٠٠	من ٥ إلي ١٠	١٠
١ : ٢٥٠،٠٠٠	١٠	٢٥
١ : ٥٠٠،٠٠٠	٢٠	٧٥
١ : ١،٠٠٠،٠٠٠	من ٢٠ إلي ٥٠	١٥٠

أيضا و بسهولة يمكن - في الجدول - ملاحظة أن دقة القياسات تكون أقل (تقريبا بقيمة النصف) من الفترة الكنتورية للخريطة المطلوبة وذلك في الخرائط التفصيلية كبيرة المقياس، بينما تتساوي القيمتين للخرائط متوسطة المقياس، ثم تقل الدقة الرأسية للقياسات الحقلية عن الفترة الكنتورية للخريطة كلما صغر مقياس الرسم.

أما المواصفات الأمريكية المحددة بواسطة هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (المعروفة اختصارا باسم USGS) والمنشورة في عام ١٩٩٩م فتحدد دقة القياسات الميدانية المطلوبة لإعداد الخرائط علي النحو التالي:

١. للخرائط ذات مقياس الرسم الأكبر من ١ : ٢٠،٠٠٠ :

- الدقة الأفقية = ١ / ٣٠ من القيمة الحقيقية في الطبيعة لما تمثله البوصة الواحدة علي الخريطة .
- الدقة الرأسية = نصف قيمة الفترة الكنتورية علي الخريطة.

٢. للخرائط ذات مقياس الرسم الأصغر من ١ : ٢٠،٠٠٠ :

- الدقة الأفقية = ١ / ٥٠ من القيمة الحقيقية في الطبيعة لما تمثله البوصة الواحدة علي الخريطة .
- الدقة الرأسية = نصف قيمة الفترة الكنتورية علي الخريطة.

٧-٦-٢ دقة الخريطة و البيانات الرقمية:

المواصفات السابقة تحدد دقة الخرائط بناءا علي مقياس رسمها، وربما يكون ذلك مناسبا للخرائط المطبوعة حيث لكل خريطة مقياس رسم محدد. لكن الوضع مختلف تماما في الخرائط الرقمية، فعند تحويل الخريطة المطبوعة إلي خريطة رقمية (عملية الترقيم) فأن الكمبيوتر يستطيع طباعة الخريطة الجديدة بأي مقياس رسم يحدده المستخدم. فإذا كانت الخريطة الأصلية (المطبوعة) هي خريطة جغرافية بمقياس رسم ١ : ٥٠،٠٠٠ وقمنا بترقيمها فأن المستخدم يستطيع طباعة جزء من الخريطة الرقمية الجديدة بمقياس ر سم ١ : ١٠٠٠ مثلا**!**. ومن وجهة نظر المؤلف فأن تحديد دقة الخرائط الرقمية سيعتمد علي نقطتين:

أولا: دقة الخريطة المطبوعة (الأصلية) التي تم استخدامها لإنتاج الخريطة الرقمية:

يجب المحافظة علي دقة الخريطة الأصلية بناءا علي مقياس رسمها، فمثلا إن كانت الخريطة المطبوعة المستخدمة ذات مقياس رسم ١ : ٢٥،٠٠٠ مثلا فأن الخريطة الرقمية ستكون بنفس الدقة مهما تغير مقياس الرسم عند طباعة الخريطة الجديدة.

ثانيا دقة القياسات الحقلية:

إن كانت الخريطة الرقمية سيتم إنشاؤها بناءا علي قياسات مساحية ميدانية (أي لن يتم الاعتماد علي أية خرائط مطبوعة قديمة) فأن دقة الخريطة الرقمية ستعتمد علي دقة القياسات الحقلية. يمكن استخدام المواصفات (الجداول) السابقة لتحديد دقة للخريطة الرقمية بناءا علي دقة القياسات الحقلية التي تمت فعلا.

توجد بعض القيم المعلنة لدقة الخرائط الرقمية لعدد من الجهات العالمية المسئولة عن إنتاج الخرائط. تقوم هذه الجهات باختيار عينة عشوائية من المعالم الممثلة علي الخريطة وقياس إحداثياتها و أبعادها ثم مقارنتها بالإحداثيات و الأبعاد الحقيقية علي الطبيعة لنفس هذه المعالم المكانية، وبتحديد الفروق يمكن حساب قيمة متوسطة للدقة الأفقية للخريطة الرقمية ثم مقارنتها بالمواصفات لتحديد إن كانت الخريطة الرقمية مطابقة للمواصفات أم لا. علي سبيل المثال فأن مواصفات ولاية فلوريدا بالولايات المتحدة الأمريكية تحدد الدقة الأفقية للخرائط الرقمية اعتمادا علي مقياس الرسم (للخريطة المطلوب إعدادها) كما في الجدول التالي:

مقياس الرسم	الدقة الأفقية
١ : ١٢٠٠	± ٣.٣٣ قدم (١.٠١ متر)
١ : ٢٤٠٠	± ٦.٦٧ قدم (٢.٠٣ متر)
١ : ٤٨٠٠	± ١٣.٣٣ قدم (٤.٠٦ متر)
١ : ٩٦٠٠	± ٢٦.٦٧ قدم (٨.١٣ متر)
١ : ١٠،٠٠٠	± ٢٧.٧٨ قدم (٨.٤٧ متر)
١ : ١٢،٠٠٠	± ٣٣.٣٣ قدم (١٠.١٦ متر)

أما جهات أخري فتحدد مواصفات دقة العمل الحقلي لتجميع البيانات المستخدمة في إعداد الخرائط الرقمية. علي سبيل المثال فأن مواصفات الخرائط الكادسترالية (التفصيلية) في نيوزيلندا تحدد دقة ± ٠.٢ متر للرفع المساحي داخل المدن و دقة ± ٠.٥ متر للرفع المساحي خارج المدن. كما توصي بعض الجهات الدولية علي إتباع مواصفات (دقة) الخرائط المطبوعة عند إعداد الخرائط الرقمية مع ذكر ذلك صراحة في الخريطة الرقمية، فمثلا يكتب (داخل الخريطة الرقمية) أنها منتجة بناءا علي مقاييس دقة الخرائط المطبوعة بمقياس رسم ١ : ٢٥٠٠ علي سبيل المثال.

٧-٦-٣ دقة الخريطة والتقنيات المكانية الحديثة:

تعتمد الخريطة (مطبوعة كانت أو رقمية) علي الوسائل و التقنيات المستخدمة في تجميع البيانات و القياسات المكانية في الطبيعة. حديثا انتشرت تطبيقات و استخدامات التقنيات المساحية حديثا (خاصة النظام العالمي لتحديد المواقع GPS والمرئيات الفضائية للاستشعار عن بعد) في إعداد و إنتاج الخرائط. لذلك يجب دراسة العلاقة بين هذه التقنيات و الخرائط خاصة من حيث الدقة المكانية.

دقة الخريطة وتقنية الجي بي أس:

تنقسم أجهزة النظام العالمي لتحديد المواقع (الجي بي أس) الي ٣ أنواع كما سبق الذكر وهي:

١. أجهزة ملاحية أو محمولة يدويا
٢. أجهزة هندسية أو جيوديسية
٣. أجهزة خاصة لنظم المعلومات الجغرافية

ولكل نوع من هذه الأنواع دقة محددة يجب معرفتها قبل استخدام هذا النوع أو ذلك في القياسات الحقلية المطلوبة لإنتاج الخرائط. فأجهزة الجي بي أس الملاحية أو المحمولة يدويا (وأيضا الموجودة في الجوالات) كلها وبدون استثناء تعتمد علي طريقة الشفرة code لاستقبال إشارات الأقمار الصناعية وحساب قيمة إحداثيات موقع جهاز الاستقبال ذاته. تتميز هذه الطريقة بأنها لا تتطلب مواصفات تقنية عالية لجهاز الاستقبال (ومن ثم رخص ثمنه) إلا أنها تعطي دقة تتراوح بين ± ٢ و ± ٨ أمتار في الإحداثيات الأفقية. يدل ذلك علي أن الإحداثيات المقاسة بهذا النوع من أجهزة الجي بي أس (سواء إحداثيات جغرافية أو إحداثيات مسقطة) تحتمل خطأ أفقي في حدود ٨ أمتار أو أقل. أما في المستوي الرأسي (الارتفاعات) فأن دقة أجهزة الجي بي أس الملاحية تكون في حدود ± ١٢ متر في المتوسط. وبالرجوع لمواصفات الخرائط (المواصفات المصرية علي سبيل المثال) نجد أن الدقة الأفقية لأجهزة الجي بي أس الملاحية أو المحمولة يدويا لا تناسب دقة الخرائط ذات مقياس الرسم الكبير، لكنها تناسب دقة الخرائط ذات مقياس الرسم المتوسط و الكبير (بدءا من مقياس رسم ١ : ٢٥،٠٠٠ أو أكبر). أما في الخرائط الكنتورية فنجد أن الدقة الرأسية لأجهزة الجي بي أس المحمولة يدويا تناسب الخرائط ذات مقياس الرسم الكبير فقط (بدءا من مقياس رسم ١ : ٢٥٠،٠٠٠) حيث تكون الفترة الكنتورية علي الخريطة أكبر من ١٠ أمتار.

أما أجهزة الجي بي أس المخصصة لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية فأنها تعطي دقة أفقية تكون غالبا أقل من ١ متر. وبالتالي فأن هذه الأجهزة تناسب تجميع البيانات المكانية للخرائط بدءا من مقياس رسم ١ : ٥٠٠٠ (لكنها لا تناسب الخرائط الكادسترالية بمقياس رسم ١ : ١٠٠٠ أو ١ : ٥٠٠). وتكون الدقة الرأسية لهذا النوع من أجهزة الجي بي أس في حدود ١.٥ متر في المتوسط، أي أنها تناسب الخرائط الكنتورية بدءا من مقياس رسم ١ : ١٠،٠٠٠ حيث الفترة الكنتورية ٢ متر. وتعد الأجهزة الهندسية أو الجيوديسية أعلي أنواع أجهزة الجي بي أس من حيث الدقة الأفقية و الرأسية والتي قد تصل إلي عدة سنتيمترات قليلة، لأنها تعتمد علي طريقة الموجة الحاملة carrier phase لاستقبال إشارات الأقمار الصناعية. وبالتالي فأن هذا النوع من الأجهزة يناسب تجميع البيانات الحقلية لكل أنواع الخرائط و لكل مقاييس الرسم.

الجدول التالي يلخص العلاقة بين أنواع أجهزة الجي بي أس ودقة الخرائط.

نوع جهاز الجي بي أس / المواصفات	الأجهزة الملاحية أو المحمولة يدويا	الأجهزة الخاصة بنظم المعلومات الجغرافية	الأجهزة الهندسية أو الجيوديسية
الدقة الأفقية	± ٢ – ٨ متر	± ١ متر	± عدة سنتيمترات
الدقة الرأسية	± ١٢ متر	± ١.٥ متر	± عدة سنتيمترات
مقياس الرسم المناسب للخريطة غير الكنتورية	١ : ٢٥،٠٠٠ أو أصغر	١ : ٥٠٠٠ أو أصغر	جميع مقاييس الرسم
مقياس الرسم المناسب للخريطة الكنتورية	١ : ٢٥٠،٠٠٠ أو أصغر	١ : ١٠،٠٠٠ أو أصغر	جميع مقاييس الرسم
الفترة الكنتورية المناسبة	١٥ متر أو أكبر	٢ متر أو أكبر	أكبر من ٠.١ متر

دقة الخريطة ومرئيات الاستشعار عن بعد:

منذ عام ١٩٩٩م ومع إطلاق أول قمر صناعي تجاري من أقمار تقنية الاستشعار عن بعد أصبح الحصول علي مرئية فضائية لأي منطقة في العالم أمرا سهلا ولا يتطلب إلا دفع ثمن المرئية للشركة صاحبة القمر الصناعي. وفي السنوات العشر الماضية أصبحت مرئيات

الاستشعار عن بعد من أهم التقنيات المستخدمة في إنتاج الخرائط الرقمية علي اختلاف أنواعها. لكن مع التعدد الكبير في نوعيات و خصائص المرئيات الفضائية أصبح لزاما علي مصممي الخرائط أن يلموا بهذه الخصائص ليحددوا أنواع الخرائط التي يمكن تطويرها من كل نوع من المرئيات.

أهم خصائص المرئية الفضائية هو ما يعرف بقدرة التمييز المكاني spatial resolutions لها، وهو أبعاد الخلية الواحدة علي المرئية. فإذا أخذنا مرئية من القمر الصناعي Spot-5 علي سبيل المثال (مرئية غير ملونة) فأن قدرة تمييزها المكاني تبلغ ٢.٥ متر، أي أن أصغر هدف أو معلم أرضي يمكن تمييزه بوضوح علي هذه المرئية تكون أبعادة الحقيقية ٢.٥ × ٢.٥ متر. وبالتالي فأن المعالم الأرضية الأصغر من هذه القيمة لن تكون واضحة علي المرئية بدرجة يمكن منها رسمها علي الخريطة الرقمية. ومن ثم فأن هذا النوع من المرئيات لا يصلح لإنتاج الخرائط التفصيلية أو الكادسترالية التي تتطلب بيان كافة المعالم الجغرافية في المنطقة. أيضا فأن نوع المرئية (لنفس القمر الصناعي) يحدد قيمة الوضوح المكاني لها وهذه نقطة هامة للغاية لمصصمي الخرائط. فعلي سبيل المثال فأن المرئية الملونة لنفس القمر الصناعي Spot-5 تبلغ قدرة تمييزها المكاني ١٠ متر (وليس ٢.٥ متر)، والمرئيات الملونة تكون أكثر استخداما في إنتاج خرائط استعمالات الأراضي حيث يمكن من المرئية تحديد أنواع الاستخدامات بناءا علي لون الظاهرات الجغرافية علي المرئية. الجدول التالي يلخص قدرات التمييز المكاني للمرئيات الفضائية من الأقمار الصناعية المتوافرة الآن.

وتأتي المرئيات الفضائية – غالبا – في صورة مرجعة جغرافيا Geo-Referenced أي أن إحداثيات المرئية تكون إحداثيات حقيقية (خط الطول و دائرة العرض) بحيث يمكن التعامل مباشرة مع المرئية في برامج إنتاج الخرائط الرقمية وبرامج نظم المعلومات الجغرافية. لكن السؤال الآن: ما هي دقة هذا الإرجاع الجغرافي؟ أو إلي أي حد تكون الإحداثيات الجغرافية للمرئية الفضائية مطابقة للإحداثيات الجغرافية الحقيقية في الطبيعة؟. لنأخذ حالة افتراضية: إن كانت عملية الإرجاع الجغرافي للمرئية قد تمت باستخدام أجهزة الجي بي أس من النوع الملاحي أو المحمول يدويا، فهذا يدل علي أن إحداثيات المرئية تكون بدقة ± ٨ متر (دقة هذا النوع من أجهزة الجي بي أس). هنا لا بد أن نتوقع وجود خطأ قيمته ± ٨ متر في إحداثيات أي معلم جغرافي علي هذه المرئية، وبالتالي سينتقل هذا الخطأ إلي الخريطة الرقمية التي سيتم إعدادها اعتمادا علي هذه المرئية الفضائية. أما في الحالة

(الافتراضية) الثانية فتكون أن نفس هذه المرئية الفضائية قد تم إرجاعها جغرافيا باستخدام أجهزة الجي بي أس من النوع الجيوديسي أو الهندسي. وهنا تكون دقة إحداثيات المرئية في حدود ٠.١ متر (دقة الأجهزة الهندسية للجي بي أس)، وبالتالي ستكون دقة الخريطة الرقمية بنفس القيمة.

المرئيات الملونة	
القمر الصناعي	قدرة التمييز المكاني
Landsat-7	٣٠ متر
Aster	٩٠ متر
Spot-5	١٠ متر
Egypt-Sat-1	٧.٨ متر
IRS	٥.٨ متر
Ikonos-2	٤ متر
Quick Bird	٢.٤ متر
GeoEye-1	٠.٥ متر
WorldView-2	١.٨ متر
المرئيات غير الملونة	
القمر الصناعي	قدرة التمييز المكاني
Landsat-7	١٥ متر
Aster	١٥ متر
Egypt-Sat-1	٧.٨ متر
Spot-5	٢.٥ متر
IRS	٥.٨ متر
Ikonos-2	١ متر
Quick Bird	٠.٦ متر
GeoEye-1	٠.٥ متر
WorldView-2	٠.٥ متر

وبناءا علي هذا المبدأ الهام فأن المرئيات الفضائية لا بد أن يتم تحديد مستوي دقتها المكانية (وليس قدرة تمييزها المكانية) قبل استخدامها في إنتاج الخرائط الرقمية. فإذا كان الهدف هو إنتاج خريطة رقمية تفصيلية أو كادسترالية، فأن دقة إحداثيات المرئية لا بد أن تكون في نفس مستوي دقة هذا النوع من الخرائط، وفي هذه الحالة لا بد من إرجاع المرئية جغرافيا بدقة عالية وباستخدام أجهزة الجي بي أس الهندسية وليس الملاحية. وقد أجريت دراسة عملية حديثة في مصر أثبتت أن المرئيات الفضائية عالية التمييز المكاني (من نوع Quick Bird) - وبعد إرجاعها جغرافيا باستخدام أجهزة الجي بي أس الهندسية - تصلح لإعداد خرائط تفصيلية كادسترالية بمقياس رسم ١ : ٥٠٠٠ .

دقة الخريطة ونماذج الارتفاعات الرقمية:

نموذج الارتفاعات الرقمية Digital Elevation Model أو اختصارا DEM هو ملف رقمي يحتوي بيانات الارتفاع (المنسوب) لمنطقة جغرافية محددة. قد يكون نموذج الارتفاعات الرقمية في صورة خطية Vector (مجموعة من السطور يتكون كل سطر من الإحداثيات الثلاثة س،ص،ع لنقطة) أو قد يكون في صورة شبكية Raster لتمثيل تضاريس أو طبوغرافية سطح الأرض في المنطقة. ويمكن الحصول علي نموذج ارتفاعات رقمية بطرق متعددة أو من خلال عدة مصادر للبيانات Input منهم علي سبيل المثال:

أ- قياسات المساحة الأرضية بأجهزة الميزان أو المحطة الشاملة Total Station أو أجهزة النظام العالمي لتحديد المواقع GPS ثم نستخدم أحد برامج الكمبيوتر لإنشاء نموذج الارتفاعات الرقمية لمنطقة الدراسة.

ب- من الخرائط الكنتورية (بعد ترقيمها علي الحاسب الآلي).

ت- من الصور الجوية Aerial Photographs.

ث- من مرئيات الأقمار الصناعية للاستشعار عن بعد Remote-Sensing Images.

ج- من نماذج الارتفاعات الرقمية العالمية المجانية.

والنوع الأخير هو أكثر أنواع نماذج الارتفاعات الرقمية شيوعا و استخداما في السنوات القليلة الماضية لعدة أسباب: (١) سهولة الحصول عليه (من شبكة الانترنت)، (٢) مجانية الحصول عليه، (٣) أنها نماذج عالمية تغطي كافة أرجاء اليابسة علي سطح الأرض. وهناك عدة نماذج ارتفاعات رقمية عالمية متاحة مجانا ومنها علي سبيل المثال:

- نموذج GLOBE:

http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/topo/globe.html

- نموذج ETOPO2:

http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/fliers/06mgg01.html

- نموذج ASTER:

/http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome

- نموذج SRTM: /http://srtm.usgs.gov

ويعد نموذجي الارتفاعات الرقمية Aster, SRTM من أكثر النماذج استخداما حول العالم وخاصة من حيث قدرة التمييز المكاني Spatial resolution. نموذج SRTM من تطوير كلا من هيئة المساحة العسكرية الأمريكية ووكالة الفضاء الأمريكية ويوجد منه ٣ مستويات من الوضوح المكاني (أو قدرة التمييز المكاني): SRTM30 حيث طول الخلية الواحدة pixel يبلغ ٣٠ ثانية من خطوط الطول و دوائر العرض (أي حوالي ٩٠٠ متر)، SRTM3 حيث طول الخلية الواحدة pixel يبلغ ٣ ثانية (أي حوالي ٩٠ متر)، SRTM1 حيث طول الخلية الواحدة pixel يبلغ ١ ثانية (أي حوالي ٣٠ متر). كلا النموذجين SRTM30, SRTM3 متاحين مجانا علي الانترنت، بينما النموذج الثالث SRTM1 متاح فقط لمنطقة شمال أمريكا (الولايات المتحدة الأمريكية و كندا فقط). أما نموذج الارتفاعات الرقمية العالمي Aster فهو من تطوير كلا من وزارة الصناعة اليابانية ووكالة الفضاء الأمريكية، وله مستوي واحد من قدرة التمييز المكانية والذي يبلغ ٣ ثانية أي ٩٠ متر. تعد قدرة التمييز المكاني من العناصر الأساسية لأي نموذج ارتفاعات رقمي حيث أنها تعبر عن قدرة النموذج في تمثيل تضاريس سطح الأرض. إن طول الخلية pixel يعبر عن طول و عرض أصغر منطقة يمكن تمييز قيمة منسوب الأرض عندها، أي أن قيمة المنسوب تكون واحدة (كقيمة متوسطة) لهذه الخلية و لا يمكن معرفة أية تفاصيل طبوغرافية داخل هذه الخلية.

يمكن استخدام نماذج الارتفاعات الرقمية العالمية لإنتاج الخرائط الكنتورية لأي منطقة في العالم وذلك لسهولة و مجانية تحميل النموذج من الانترنت في لحظات. لكن السؤال الأهم هنا هو: ما دقة بيانات نماذج الارتفاعات الرقمية العالمية؟ وهل تصلح هذه النماذج لإنتاج الخرائط الكنتورية بأي مقياس رسم؟. الموقع الرسمي لوكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) يحدد دقة نموذج الارتفاعات الرقمية العالمي SRTM بقيمة تتراوح بين ± ٦ – ١٠ متر علي المستوي

العالمي، و دقة نموذج الارتفاعات الرقمية العالمي Aster بقيمة تتراوح بين ± ٧ – ١٤ متر علي المستوي العالمي. أي أن قيمة منسوب أي نقطة مستنبطة من نموذج الارتفاعات الرقمية SRTM تحتمل خطأ متوقع قيمته تتراوح بين ٦ و ١٠ أمتار، بينما قيمة منسوب أي نقطة مستنبطة من نموذج الارتفاعات الرقمية Aster تحتمل خطأ متوقع قيمته تتراوح بين ٧ و ١٤ متر. أي أن هذه الدقة الرأسية تناسب فقط الخرائط الكنتورية التي بها الفترة الكنتورية تساوي أو أكبر من ١٠ متر وهي الخرائط الجغرافية (أو الخرائط العامة) ذات مقياس الرسم الصغير بدءا من مقياس رسم ١ : ١٠٠،٠٠٠. وبالتالي فأن هذه النماذج لا تناسب مواصفات إنتاج الخرائط الكنتورية التفصيلية صغيرة أو متوسطة مقياس الرسم.

٧-٧ مراحل تطوير نظام معلومات جغرافي

تتكون المراحل الرئيسة لبناء قاعدة المعلومات المكانية من عدة خطوات تشمل:

- تحديد الهدف: من خلال مقابلات مع مسئولي و مستخدمي النظام المطلوب إنشاؤه يتم التعرف علي أهداف النظام المطلوب.
- تحديد العناصر الأساسية الواجب توافرها في قاعدة المعلومات.
- وضع تصميم أولي للنظام مثل مواصفات حقول البيانات غير المكانية.
- اختبار التصميم الأولي للنظام للتأكد من عدم وجود أية مشكلات فنية.
- البحث عن المصادر المعلوماتية مثل خرائط الأساس والمرئيات الفضائية و الصور الجوية وأيضا المعلومات غير المكانية المطلوبة.
- فحص مصادر المعلومات و التأكد من جودتها وملائمتها للشروط و الأهداف المحددة للنظام. وهناك عدة معايير للحكم علي المعلومات المكانية تشمل: الدقة accuracy والتغطية coverage و الكفاية completeness و درجة الثقة reliability والملائمة convenience وسهولة القراءة و التعامل readability.
- إدخال المعلومات الي النظام.
- تدقيق المعلومات المدخلة و التأكد من صحتها وصحة إدخالها.
- استخدام و تطبيق النظام فعليا.
- حفظ نسخة احتياطية من قواعد البيانات.
- تحليل البيانات للوصول الي معلومات.
- عرض النتائج.
- خطة تحديث المعلومات بصفة دورية.

الفصل الثامن

الإحصاء و تحليل البيانات

٨-١ مقدمة

تمثل البيانات المكانية وأيضا البيانات غير المكانية جوهر نظم المعلومات المكانية، ومن ثم فأن التأكد من جودة هذه البيانات و دقتها ومحاولة اكتشاف أية مصادر للأخطاء بها يعد من أهم أسس تطوير نظام يحقق الأهداف المنشودة منه. وحيث أن القياسات (سواء قياسات المساحة الأرضية أو المواقع المقاسة بتقنيات النظم العالمية لتحديد المواقع وأيضا القياسات من الصور الجوية و المرئيات الفضائية) لا تخلو من الأخطاء مهما صُغرت قيمتها، فأن ضبط و تصحيح هذه القياسات يصبح مطلبا أساسيا قبل إدخالها في قواعد بيانات نظم المعلومات المكانية. وعلي صعيد آخر فأن تحليل البيانات يمثل خطوة أساسية في مراحل بناء النظام بغرض اشتقاق معلومات تصف الواقع الحقيقي الدقيق للظاهرات الأرضية الممثلة داخل النظام. وبناءا عليه فأن ضبط القياسات و تحليل البيانات المكانية و غير المكانية ُيعد من أسس الجيوماتكس.

٨-٢ نظرية الأخطاء

يعتمد علم المساحة في المقام الأول علي الأرصاد (القياسات) والتي مهما بلغت دقة قياسها فلن تعطي نتائج صحيحة بصورة مطلقة بل سيكون بها خطأ مهما كان صغيرا جدا. فعلي سبيل المثال إذا قام راصد ذو خبرة كبيرة مستخدما جهاز ثيودوليت دقيق بقياس زاوية ما عدد من المرات فلن تكون قيمة الزاوية واحدة في كل هذه القياسات. لذلك من الضروري الإلمام بمصادر الأخطاء و أنواعها و كيفية التغلب عليها – إن أمكن – أو كيفية التعامل معها حسابيا للوصول إلي قيمة أقرب للصحة للكمية التي يتم قياسها.

٨-٢-١ مصادر و أنواع الأخطاء

الخطأ هو مقدار الفرق بين القيمة المقاسة (المرصودة) والقيمة الحقيقية لها. لكن من الصعب – إن لم يكن من المستحيل – أن نعرف القيمة الحقيقية لأي قياس، ولذلك فنستعيض عنه بالقيمة الأكثر احتمالا له. وتحدث الأخطاء نتيجة ثلاثة أسباب أو مصادر هي:

(أ) أخطاء إلية:

أخطاء ناتجة عن عيوب الأجهزة المستخدمة في القياس والتي يمكن التغلب عليها من خلال ضبط الجهاز ضبط دائم و معايرته كل فترة و إتباع خطة معينة في الرصد وتصحيح أو ضبط الأرصاد من خلال معادلات رياضية (مثلا ضبط زوايا المثلث بحيث يساوي مجموع زواياه ١٨٠ درجة).

(ب) أخطاء شخصية:

أخطاء ترجع للراصد ذاته مثل عدم اعتنائه بعملية الرصد بصورة سليمة أو قلة خبرته العملية.

(ج) أخطاء طبيعية:

أخطاء ترجع أسبابها لتغير الظروف الطبيعية أثناء عملية الرصد مثل تغير تأثير الانكسار الجوي علي الميزان في فترات اليوم الواحد.

تنقسم أنواع الأخطاء إلي أربعة أنواع تشمل:

(١) الغلط أو الخطأ الجسيم Mistake or Blunder or Gross Error:

هو قيمة شاذة تجعل القيم المرصودة غير متجانسة مع بقية الأرصاد المماثلة، وينتج عن قلة الخبرة أو الإهمال في القياس. ويمكن اكتشاف الغلط من خلال الحرص في المراجعة والتحقق من كل خطوة من خطوات الرصد ثم استبعاده نهائيا من عملية الحسابات المساحية. تجدر الإشارة إلي أن الغلط هو أخطر أنواع الأخطاء وأشدها تأثيرا علي دقة العمل في حالة عدم اكتشافه.

(٢) الخطأ التراكمي Accumulative Error:

هو خطأ صغير القيمة نسبيا (عند مقارنته بقيمة الغلط) يتكرر بنفس المقدار و الإشارة إذا تكرر القياس تحت نفس الظروف وباستخدام نفس الأجهزة ونفس الراصدين. والخطأ المنتظم خطا تراكمي بمعني أن قيمته تزيد كلما تكرر القياس، ويتم التغلب علي الخطأ المنتظم إما بإضافة التصحيحات اللازمة له أو بوضع خطة دقيقة لعملية الرصد ذاتها، ويجب أن يتم ذلك قبل استخدام الأرصاد في العمليات الحسابية المساحية.

(٣) الخطأ المنتظم Systematic Error:

يشبه الخطأ المنتظم الخطأ التراكمي في طبيعته إلا أنه قد يكون تراكميا بنفس المقدار والإشارة وقد يختلف في قيمته و إشارته من أجزاء العمل الحقلي. كمثال تأثير عوامل الطقس (الحرارة والرطوبة) علي قياسات الزوايا و المسافات المقاسة الكترونيا سواء بأجهزة EDM أو المحطات الشاملة، ولذلك توجد معادلات رياضية لحساب قيمة هذا الخطأ المنتظم بناءا علي قيم

درجات الحرارة و الرطوبة المقاسة أثناء عملية الرصد الميداني. ويتم التغلب علي الأخطاء المنتظمة من خلال إجراء التصحيحات اللازمة أو بوضع خطة دقيقة لعملية الرصد واختيار أنسب ظروف القياس. أيضا يجب أن يتم التغلب علي الأخطاء المنتظمة و تصحيحها (مثل الأخطاء التراكمية) قبل استخدام الأرصاد في العمليات الحسابية المساحية.

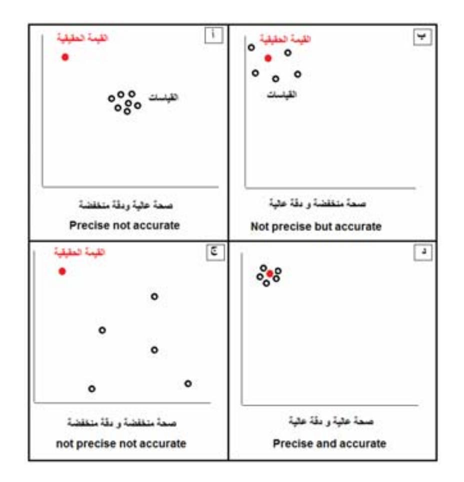
(٤) الخطأ العشوائي أو العارض Random or Accidental Error:

الخطأ العشوائي خطأ متغير غير ثابت لا في القيمة ولا في الإشارة ولا يمكن التنبؤ به ولا معرفة مصدره الرئيسي، ولذلك فأسمه العشوائي. توجد الأخطاء العشوائية - مهما صغرت قيمتها - في كل القياسات ويتم التعامل معها بطرق رياضية لمحاولة الوصول إلي القيمة الأكثر احتمالا للكميات المطلوب حساب قيمتها الدقيقة. وهذا هو موضوع نظرية الأخطاء Theory of Errors أو عملية الضبط Adjustment.

٨-٢-٢ مبادئ إحصائية للتعامل مع القياسات

(أ) الدقة Accuracy والصحة Precision:

يجب علي دارس الجيوماتكس أن يفرق بين كلا المفهومين وخاصة أن بعض الكتب باللغة العربية تترجم كلا الكلمتين إلي "دقة" مع أنه يوجد اختلاف جذري بينهما. فالصحة (البعض يسميها الإحكام أو الدقة الظاهرية) Precision تدل علي مدي تقارب مجموعة من القياسات لنفس الهدف، أي أن الصحة هي درجة التوافق بين عدة قياسات لقيمة واحدة، أو هي درجة تنقية الأرصاد من الأخطاء معروفة المصدر وإزالة تأثيرها علي القياسات. بينما الدقة Accuracy تدل علي مدي قرب هذه الأرصاد من القيمة الحقيقية لها، أو بمعني آخر فالدقة هي درجة الكمال في الأرصاد وخلوها من الأخطاء بقدر الإمكان. والشكل التالي يمثل أربعة حالات للفرق بين الدقة و الصحة: (أ) فان كانت القياسات متقاربة جدا من بعضها البعض لكنها في نفس الوقت بعيدة عن القيمة الحقيقية فهنا تكون الصحة عالية لكن الدقة منخفضة، (ب) أما إن كانت القياسات متباعدة عن بعضها البعض لكنها في نفس الوقت قريبة من القيمة الحقيقية فهنا تكون الصحة منخفضة لكن الدقة عالية، (ج) أما إن كانت القياسات متباعدة عن بعضها البعض وأيضا بعيدة عن القيمة الحقيقية فهنا تكون الصحة منخفضة والدقة منخفضة أيضا، (د) أما إن كانت القياسات متقاربة جدا من بعضها البعض وفي نفس الوقت قريبة من القيمة الحقيقية فهنا تكون الصحة عالية والدقة عالية أيضا.



شكل (٨-١) الدقة و الصحة

ومن الصعب معرفة القيمة الحقيقية لأي قيمة مقاسه لتحديد دقة القياسات، وغالبا نستطيع حساب قيمة هي الأكثر احتمالا أو الأكثر قربا للقيمة الحقيقية. مثلا إذا قممنا بقياس زاوية عدة مرات – وتأكدنا من عدم وجود أية أغلاط أو أخطاء منتظمة أو أخطاء تراكمية – ثم قمنا بحساب متوسط هذه الأرصاد فأنه سيكون أقرب وأكثر احتمالا للقيمة الحقيقية لهذه الزاوية. لكي نحدد مقياس للدقة يتم مقارنة القيمة الأكثر احتمالا (المتوسط) بقيمة المسافة التي تم قياسها بطريقة أدق، فمثلا نقارن متوسط المسافات المقاسة بالشريط مع قيمة المسافة المقاسة بالمحطة الشاملة ونقارن متوسط الزاوية المقاسة بالثيودوليت مع قيمة الزاوية المحسوبة من أرصاد النظام العالمي لتحديد المواقع GPS، ونقارن إحداثيات GPS مع إحداثيات تقنية أخري أكثر تقدما ودقة مثل VBLI. Accurate

وبصفة عامة فيمكن تقسيم الأرصاد المساحية إلي مجموعتين:

<u>(١) أرصاد مباشرة Direct Observations:</u>

عند قياس الكمية المطلوبة قياسا مباشرا فمثلا قياس المسافة مباشرة وكذلك قياس الزوايا المطلوبة ... الخ. تسمي هذه الكميات في هذه الحالة كميات مستقلة Independent Observations أي لا تعتمد علي أية أرصاد أو كميات أخري.

<u>(٢) أرصاد غير مباشرة Indirect Observations:</u>

هي الكميات التي لا يمكن قياسها مباشرة لكن يتم عمل أرصاد لكميات أخري والتي منها سيتم تحديد أو حساب قيم الكميات الأصلية المطلوبة. فمثلا قياس طول وعرض مربع بهدف حساب مساحته. وتسمي الأرصاد غير المباشرة كميات تابعة Dependant Observations لأنها تعتمد في تحديد قيمتها علي قيم أرصاد أخري تتأثر بها.

٨-٣ التحليل الإحصائى للبيانات

القيمة الأكثر احتمالا Most-Probable Value:

من الصعب – إن لم يكن من المستحيل – معرفة القيمة الحقيقية لأي كمية مقاسه وذلك لوجود أخطاء في القياس مهما كانت قيمة هذه الأخطاء صغيرة جدا. إن كانت الأرصاد مستقلة ولا تعتمد علي بعضها البعض وقمنا بتكرار القياس عدة مرات فأن قيمة المتوسط الحسابي ستمثل القيمة الأكثر احتمالا أو الأكثر توقعا أو الأكثر قربا للقيمة الحقيقية.

المتوسط الحسابي = مجموع الأرصاد / عدد الأرصاد (٨-١)

$$y^{-} = \sum_{i=1}^{n} y_i \Big/ n \quad (8\text{-}1)$$

حيث:

y_i مجموعة الأرصاد $y_1, y_2, y_3, \ldots\ldots y_n$

n عدد الأرصاد

y^{-} المتوسط الحسابي

الخطأ الحقيقي True Error:

هو الفرق بين القيمة المرصودة والقيمة الحقيقية لها. وبما أن القيمة الحقيقية لا يمكن معرفتها ففي معظم الأحيان فان الخطأ الحقيقية أيضا لا يمكن معرفته. لكن في بعض الحالات يمكن معرفة الخطأ الحقيقي من خلال مواصفات أو قواعد هندسية معلومة فمثلا عند قياس الزوايا الثلاثة لمثلث فيجب أن يساوي مجموع الزوايا ١٨٠ درجة، ففي هذه الحالة يكون الخطأ الحقيقي هو ناتج طرح مجموع الزوايا المقاسة من ١٨٠.

الخطأ الحقيقي = القيمة المرصودة – القيمة الحقيقية (٨-٢)

$$\varepsilon_i = y_i - \mu \quad (8\text{-}2)$$

حيث:

μ القيمة الحقيقية

ε_i الخطأ الحقيقي عند كل رصدة i

الأخطاء المتبقية أو الفروق Residuals or Discrepancies:

الفرق أو الخطأ المتبقي (أو الباقي residual) هو الفرق بين القيمة المرصودة و القيمة الحقيقية لها. لكننا نستعيض عن القيمة الحقيقية بالقيمة الأكثر احتمالا لها وبذلك يكون الخطأ المتبقي:

الفرق = القيمة الأكثر احتمالا – القيمة المرصودة (٨-٣)

$$v_i = y^- - y_i \qquad (8\text{-}3)$$

حيث:

v_i الخطأ المتبقي أو الفرق عند كل رصدة i

التباين Variance:

التباين هو مؤشر إحصائي يحدد مدي تباين أو انتشار أو تشتت مجموعة من الأرصاد حول القيمة الحقيقية لها أو القيمة الأكثر احتمالا لها، ولذلك يوجد نوعين من التباين:

تباين المجتمع Population Variance:

إذا تم قياس كل الأرصاد الممكنة للقيمة المطلوبة فأن تباين المجتمع يساوي مجموع مربعات الأخطاء الحقيقية مقسوما علي عدد الأرصاد:

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2 \Big/ n \qquad (8\text{-}4)$$

حيث ε الخطأ الحقيقي لكل رصدة (وهو كما ذكرنا غير معلوم بسبب أن القيمة الحقيقية غالبا غير معلومة).

تباين العينة Sample Variance:

إذا تم قياس عينة أو مجموعة من الأرصاد للقيمة المطلوبة فأن تباين هذه العينة يساوي مجموع مربعات الأخطاء المتبقية (وليست الأخطاء الحقيقية) مقسوما علي عدد الأرصاد ناقص واحد:

$$S^2 = \sum_{i=1}^{n} v_i^2 \Big/ n-1 \qquad (8\text{-}5)$$

حيث: v الخطأ المتبقي أو الفرق لكل رصدة.

الخطأ المعياري Standard Error:

الخطأ المعياري هو الجذر التربيعي لقيمة تباين المجتمع:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2 \Big/ n} \tag{8-6}$$

الانحراف المعياري Standard Deviation:

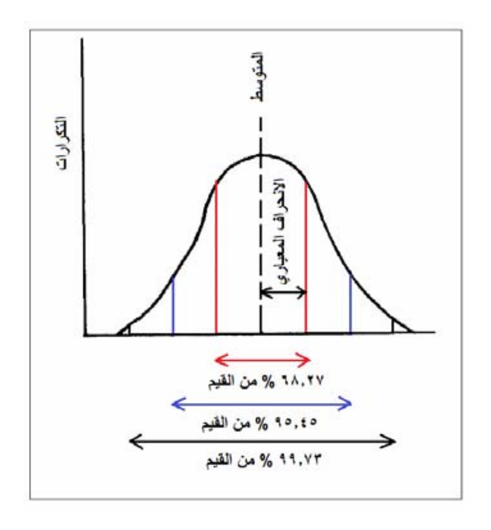
يعبر الانحراف المعياري (يطلق عليه أيضا أسم الخطأ التربيعي المتوسط Mean Square Error) عن مدي انحراف (ابتعاد أو اقتراب) القيمة المقاسة عن القيمة الأكثر احتمالا لها، وقيمته تساوي الجذر التربيعي لقيمة تباين العينة:

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} v_i^2 \Big/ n-1} \tag{8-7}$$

وللانحراف المعياري عدة مميزات تجعله أشهر و أفضل مقاييس التشتت و الانتشار. فأولي مميزاته أن وحداته هي نفس وحدات مجموعة الأرقام الأصلية مما يجعله سهل الفهم و التحليل. أما ثاني مميزات الانحراف المعياري وبناءا علي خصائص شكل التوزيع الطبيعي Normal Distribution أو ما نسميه المنحني الطبيعي Normal Curve فهي أنه يمكن استخلاص ٣ معلومات مهمة إذا عرفنا قيمة المتوسط و الانحراف المعياري لمجموعة من البيانات غير المكانية:

- تقع ٦٨.٢٧% من قيم الأرقام ضمن فئة تتراوح بين (المتوسط – الانحراف المعياري) و (المتوسط + الانحراف المعياري)
- تقع ٩٥.٤٥ % من قيم الأرقام ضمن فئة تتراوح بين (المتوسط – ٢ الانحراف المعياري) و (المتوسط + ٢ الانحراف المعياري)
- تقع ٩٩.٧٣ % من قيم الأرقام ضمن فئة تتراوح بين (المتوسط – ٣ الانحراف المعياري) و (المتوسط + ٣ الانحراف المعياري)

وكلما صغرت قيمة الانحراف المعياري صغرت حدود هذه الفئة مما يدل علي أن القياسات أقرب ما تكون للقيمة الحقيقية، والعكس صحيح فكلما كبرت قيمة الانحراف المعياري زادت حدود الفئة مما يعطي انطباعا أن القياسات أو الأرصاد بعيدة عن القيمة الحقيقية.



شكل (٨-٢) العلاقة بين المتوسط و الانحراف المعياري (منحني التوزيع الطبيعي)

أيضا يجب ملاحظة أن الانحراف المعياري يعتمد علي عدد الأرصاد (n في المعادلة ٨-٧)، أي أن كلما زاد عدد الأرصاد أو القياسات كلما زاد اقتراب هذه القياسات من القيمة الحقيقية لها وبالتالي تزداد الثقة في القياسات. وهذا من أهم مبادئ العمل المساحي بصفة عامة حيث دائما نفضل أن نقيس الكمية عدد من المرات ولا نكتفي بقياسها مرة واحدة فقط.

<u>الانحراف المعياري للمتوسط Standard Deviation of the Mean:</u>

الانحراف المعياري للمتوسط الحسابي هو حاصل قسمة الانحراف المعياري للعينة علي الجذر التربيعي لعدد الأرصاد:

$$s_{\bar{y}} = \pm S / \sqrt{n} \qquad (8-8)$$

وتعبر قيمة الانحراف المعياري عن مدي تشتت أو تباعد القياسات عن بعضها البعض وبالتالي فهي قيمة معبرة عن مدي التوافق بين الأرصاد ومن ثم فأن الانحراف المعياري يؤخذ علي أنه مقياس أو مؤشر للصحة Precision. وفي العمل المساحي لا نعبر عن القيمة الأكثر احتمالا بقيمة المتوسط فقط إنما بقيمتي المتوسط و الانحراف المعياري معا، فنقول أن المسافة المقاسة – علي سبيل المثال – تساوي ٥٣.٢١ ± ٠.٠٣ متر.

وبالعودة لتعريف كلا من الصحة و الدقة نستطيع القول أن الانحراف المعياري (الذي هو أساسا مؤشر للصحة Precision) يمكنه أن يعبر عن الدقة Precision في حالة خلو الأرصاد بقدر الإمكان من الأخطاء المنتظمة والأخطاء التراكمية والأغلاط. ففي حالة خلو

الأرصاد من مصادر الأخطاء المعروفة فأن القياسات لن يكون بها إلا الأخطاء العشوائية فقط وبالتالي ستقترب قيم الأخطاء المتبقية أو الفروق من قيم الأخطاء الحقيقية وستقترب القيمة الأكثر احتمالا من القيمة الحقيقية للكمية المقاسة، ومن هنا فأن قيمة الانحراف المعياري ستقترب من قيمة الخطأ الحقيقي مما يجعل الانحراف المعياري يعبر - بدرجة كبيرة - عن الدقة. هنا تأتي أهم مبادئ العمل المساحي وهو أنه يحاول تحقيق أعلي درجة من الدقة في الرصد الحقلي سواء دقة الأجهزة المستخدمة أو دقة أساليب الرصد الميداني واتخاذ كافة الاحتياطات و تطبيق مواصفات الرصد وزيادة عدد الأرصاد مما يجعل الأرصاد المساحية خالية بقدر الإمكان من الأخطاء معلومة المصدر وبذلك فتكون نتائج الحسابات المساحية معبرة عن دقة الكميات المطلوب تحديدها.

معامل الاختلاف Coefficient of Variation

يستخدم معامل الاختلاف عند مقارنة مدي التشتت في بيانات مجموعتين مختلفتين من البيانات غير المكانية، خاصة في حالة اختلاف نوعي البيانات ذاتها واختلاف وحداتهما. تتم هذه المقارنة عن طريق تخليص الانحراف المعياري من أثر الاختلاف وذلك بنسبته (أو قسمته) إلي المتوسط:

معامل الاختلاف = الانحراف المعياري / المتوسط (٨-٩)

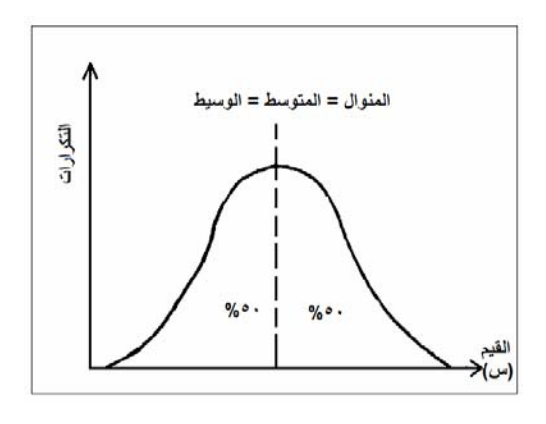
$$c.v = s / y^{-} \quad (8\text{-}9)$$

وأحيانا نضرب قيمة معامل الاختلاف في ١٠٠ لنحوله إلي نسبة مئوية سهلة الفهم. وكلما كانت قيمة معامل الاختلاف منخفضة دل ذلك علي تكتل القيم حول معدلها و عدم تشتتها، والعكس صحيح.

الالتواء و التفلطح Skewess and Kurtosis

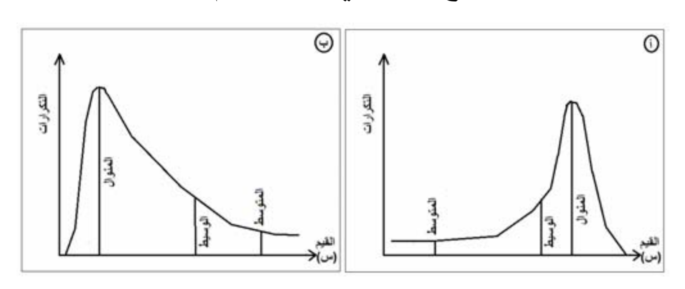
الالتواء

الالتواء هو بعد التوزيع التكراري لظاهرة عن التماثل أو التوزيع المتماثل symmetrical distribution. فإذا كان التوزيع متماثلا فأن ٥٠% من القيم ستقع علي كل جانب من المنوال (المنوال هو القيمة التي تتكرر أكثر من غيرها من القيم، أو هو القيمة الأكثر تكرارا بين مجموعة الأرقام)، ويكون المنوال = الوسيط = المتوسط الحسابي:



شكل (٨-٣) التوزيع المتماثل

أما التوزيعات غير المتماثلة asymmetrical distributions فهي التي تتزايد أو تتناقص فيها التكرارات بشكل غير منتظم علي جانبي المحور المقام عند وسط التوزيع. في شكل (٨-٤أ) نجد أن المتوسط اقل من الوسيط الذي هو اقل من المنوال وذلك بسبب أن التوزيع ملتويا جهة اليسار. و في شكل (٨-٤ ب) نجد أن المتوسط اكبر من الوسيط الذي هو اكبر من المنوال وذلك بسبب أن التوزيع ملتويا جهة اليمين. وفي كلتا الحالتين فأن لوسيط يقع بين المتوسط و المنوال كما أن المتوسط يقع دائما في اتجاه القيم الشاذة.



شكل (٨-٤) الالتواء

ومن أهم مقاييس الالتواء معامل بيرسون لقياس الالتواء Pearson's coefficient for skewness ، والذي يتم حسابه من المعادلة:

معامل بيرسون = ٣ (المتوسط – الوسيط) / الانحراف المعياري للعينة (٨-١٠)

$$p = 3(y^{-} - m) / s \quad (8\text{-}10)$$

حيث:

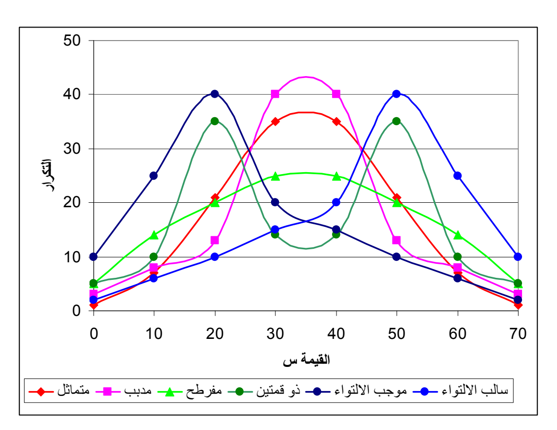
p معامل بيرسون

m الوسيط median وهو هو القيمة التي تتوسط مجموعة من الأرقام بعد ترتيبها تنازليا أو تصاعديا.

وتتراوح قيمة هذا المعامل بين -٣ إلي +٣ ، وإذا كانت قيمة المعامل = صفر فهذا يدل علي أن التوزيع متماثل، أما إن كانت قيمة المعامل موجبه فهذا يدل علي أن التوزيع ملتويا وله ذيل ناحية اليمين ونقول أنه الالتواء موجب ، و إن كانت قيمة المعامل سالبه فهذا يدل علي أن التوزيع ملتويا وله ذيل ناحية اليسار ونقول أنه الالتواء سالب.

التفلطح

التفلطح Kurtosis هو مدي اختلاف التوزيع التكراري لظاهرة عن التوزيع الطبيعي أو التوزيع العادي normal distribution. قد يكون التوزيع مدببا leptokurtic إذا كان أكثر تحديا عند قمته أو قيمته المركزية و كانت تلك القيمة اعلي منها للتوزيع الطبيعي، وقد يكون التوزيع مفرطحا platykurtic إذا كانت قمته أكثر استقامة و ادني من تلك للتوزيع الطبيعي.



شكل (٨-٥) أمثلة للتوزيعات

يقاس التفلطح بمعامل يسمي معامل التفلطح و يحسب من المعادلة:

معامل التفلطح = م٤ / س ٤ (٨-١١)

حيث:

م٤ (يسمي معامل العزم الرابع) = مجموع [(س – س')^٤] ÷ ن

س٤ = الأس الرابع لقيمة الانحراف المعياري

$$k = [(\sum (y - y^{-})^4 / n] / s^4) \qquad (8\text{-}11)$$

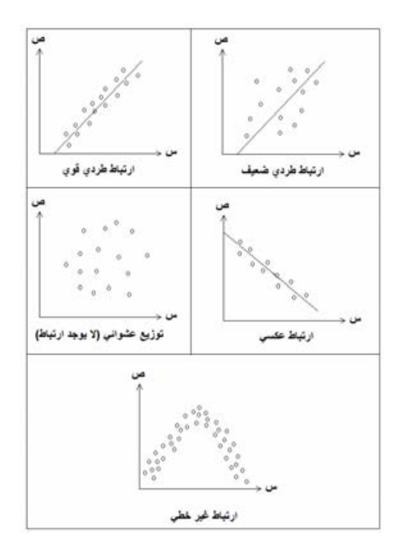
فإذا كان معامل التفلطح = ٣ فيدل ذلك علي أن التوزيع متوسط التفلطح، وان كان أقل من ٣ فيدل ذلك علي أن التوزيع مفلطحا، وان كان أكبر من ٣ فذلك يدل علي أن التوزيع له قمة مدببة.

الارتباط و الانحدار Correlation and Regression

من أهم خطوات تحليل و تعليل الظاهرات المختلفة دراسة أوجه التشابه و الاختلاف بينها. وقد تتم هذه الخطوة من خلال المقارنات الوصفية البسيطة أو من خلال المقارنات الاستنتاجية التفسيرية. أما المقارنات الوصفية البحتة لتحليل الظاهرات فتعتمد علي تطبيق بعض النظريات الحسابية لمقارنة المؤشرات الإحصائية (مثل المتوسط و الانحراف المعياري) بين مجموعتين أو أكثر من البيانات غير المكانية. لكن هناك طرق تعطي صورة أكثر دقة عن مدي التشابه و الاختلاف وأيضا العلاقات بين الظاهرات، ومن هذه الطرق الارتباط و الانحدار.

الارتباط

يقيس الارتباط مدي الترابط بين مجموعتين من البيانات غير المكانية. توجد عدة صور من الارتباط بين ظاهرتين وكذلك تختلف قيمة الارتباط من حيث قوتها و ضعفها كما نري في الشكل التالي:



شكل (٨-٦) أمثلة للارتباط

ويتم حساب معامل الارتباط (يعرف أيضا باسم معامل ارتباط بيرسون نسبة إلي العالم الإحصائي الذي توصل إليه) من خلال المعادلة:

ر = [مج (س – س ') × (ص – ص ') / ن] ÷ [عس × عص]   (٨-١٢)

$$R = [\sum (x - x^{-})(y - y^{-}) / n] / (S_x S_y) \qquad (8\text{-}12)$$

حيث:

R أو ر   معامل ارتباط بيرسون

$\bar{x}$ أو س' المتوسط الحسابي لمجموعة البيانات س x

$\bar{y}$ أو ص' المتوسط الحسابي لمجموعة البيانات ص y

n أو ن عدد البيانات

s_x أو $ع_س$ الانحراف المعياري لمجموعة البيانات س x

s_y أو $ع_ص$ الانحراف المعياري لمجموعة البيانات ص y

وتتراوح قيمة معامل الارتباط بين -١ و +١، فان كانت قيمته موجبه فتدل علي وجود ارتباط موجب أو طردي بين مجموعتي البيانات (بمعني أن زيادة قيمة المتغير الأول تؤدي بصفة عامة إلي زيادة قيمة المتغير الثاني أيضا) وان كانت قيمته سالبه فتدل علي وجود ارتباط سالب أو عكسي بين المجموعتين أو الظاهرتين (بمعني أن زيادة قيمة المتغير الأول تؤدي عامة إلي تناقص قيمة المتغير الثاني). أما إن كانت قيمة معامل الارتباط تساوي الصفر فهذا يدل علي عدم وجود أي ارتباط بين هاتين الظاهرتين.

أما قيم معامل الارتباط ذاتها فيمكن تقسيمها إلي عدة مستويات كالتالي:

من ± ٠.٧ إلي ± ١.٠ درجة ارتباط عالية و قوية

من ± ٠.٤ إلي ±٠.٧ درجة ارتباط جوهرية أو حقيقية

من ± ٠.٢ إلي ±٠.٤ درجة ارتباط منخفضة أو ضعيفة

أقل من ± ٠.٢ درجة ارتباط ضعيفة للغاية أو منعدمة

الانحدار

إن الارتباط يعطي درجة العلاقة بين ظاهرتين، فإذا ما وجدت هذه العلاقة فأننا نحاول أن نحددها بصورة رياضية تسمح لنا بتقدير قيمة أحد المتغيرين إذا عرفنا قيمة المتغير الآخر وهذا ما يعرف بالانحدار. الانحدار Regression هو دراسة للتوزيع المشترك لمتغيرين احدهما يقاس ويسمي المتغير المستقل independent والآخر متغير غير مستقل أو متغير تابع dependent بهدف تحديد شكل العلاقة بينهما بصورة رياضية. أهم صور الانحدار هي ما يعرف باسم الانحدار الخطي أي محاولة توفيق خط مستقيم يمر بأكبر عدد ممكن من النقاط. إلا أنه تجدر الإشارة لإمكانية وجود انحدار غير خطي بين متغيرين.

إن معادلة الخط المستقيم هي:

ص = أ + ب س (٨-١٣)

$$y = a + bx \quad (8\text{-}13)$$

حيث:

y أو ص المتغير التابع

x أو س المتغير المستقل

a أو أ قيمة ثابتة تمثل الجزء الذي يقطع الخط المستقيم من المحور الرأسي

b أو ب قيمة ثابتة تمثل ميل الخط علي المحور الأفقي

ولتحديد قيمتي الثابتين أ، ب نستخدم المعادلتين:

ب = [(مج (س × ص) – (ن × س' × ص')] / [مج (س^{٢}) – ن × س'^{٢}] (٨-١٤)

أ = ص' – (ب × س') (٨-١٥)

$$b = (\sum xy) - (n x^{-} y^{-}) \Big/ (\sum x^2 - (n x^{-^2}) \quad (8\text{-}14)$$

$$a = y^{-} - (b x^{-}) \quad (8\text{-}15)$$

حيث:

x^{-} أو س' المتوسط الحسابي للمتغير س x

y^{-} أو ص' المتوسط الحسابي للمتغير ص y

n أو ن عدد القيم

ومن أهم تطبيقات خط الانحدار ما يسمي بالتنبؤ المستقبلي، أي التنبؤ بقيمة المتغير التابع عند قيمة محددة – مستقبلية – للمتغير المستقل.

٨-٤ مبدأ الوزن في القياسات

في المعادلات السابقة تم حساب المتوسط و الانحراف المعياري للكمية التي تم قياسها عدد من المرات لكننا افترضنا أن كل القياسات متساوية في الدقة و الأهمية. ماذا لو كانت بعض القياسات قد تمت باستخدام الشريط بينما القياسات الأخرى تمت باستخدام جهاز EDM؟ هل ستكون كل القياسات متساوية في الأهمية ومقدار الثقة بها؟ هنا يأتي دور الوزن weight ليكون مفهوما يعبر عن مدي اختلاف أهمية أو الثقة في بعض القياسات. فكلما كانت الثقة في

الرصدة كبيرة فيكون وزنها (أهميتها النسبية) كبيرا والعكس صحيح فكلما كانت الثقة ضعيفة في رصدة معينة فيجب أن يكون وزنها أقل. فعلي سبيل المثال إذا قمنا برصد زاوية معينة مرة باستخدام محطة شاملة دقتها ١" ومرة أخري باستخدام جهاز ثيودوليت دقته ٥" فأن وزن الزاوية الأولي يجب أن يكون – منطقيا- أكبر من وزن الزاوية الثانية حيث أن دقة الجهاز المستخدم أعلي في الأولي من الثانية.

وبناءا علي مبدأ الوزن (أو الأهمية النسبية) فأن طريقة حساب المتوسط ستتغير لنحسب ما نطلق عليه أسم المتوسط الموزون Weighted Mean (لنفرق بينه وبين المتوسط العادي في المعادلة ٨-١ والذي كان يعتمد علي أن كل القياسات متساوية في الأهمية أو متساوية في الوزن):

المتوسط الموزون = مجموع (حاصل ضرب كل رصدة× وزنها) / مجموع الأوزان

$$y^{-} = \sum_{i=1}^{n} y_i w_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} w_i \qquad (8\text{-}16)$$

كما ستتغير أيضا طريقة حساب الانحراف المعياري عند وجود أوزان مختلفة للقياسات (بدلا من المعادلة ٨-٧) وذلك بحساب الجذر التربيعي لقيمة الناتج من قسمة مجموع حاصل ضرب (مربع الخطأ المتبقي لكل رصدة في وزن الرصدة) علي عدد الأرصاد ناقص واحد:

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} v_i^2 w_i \Big/ n-1} \qquad (8\text{-}17)$$

كذلك ستتغير معادلة حساب الانحراف المعياري للمتوسط (٨-٨) لتصبح ناتج قسمة الانحراف المعياري علي الجذر التربيعي لمجموع الأوزان:

$$s_{y^{-}} = \pm S / \sqrt{w} \qquad (8\text{-}18)$$

٨-٥ نظرية ضبط شبكات الأرصاد

من مبادئ القياس الحقلي (العمل المساحي الميداني) أننا نقوم بقياس عدد من الأرصاد أكثر من العدد الفعلي المطلوب وذلك لكي يتوافر لدينا أرصاد زائدة Redundant Observations تمكننا من توفير فرصة للمراجعة و التحقيق الحسابي و فحص الأرصاد. فمثلا من الممكن أن نكتفي بقياس زاويتين في مثلث ونقوم بحساب الزاوية الثالثة لكننا في الواقع نقيس الزوايا الثلاثة حتى نتحقق من أن مجموعهم يساوي ١٨٠ درجة وبالتالي نتأكد من جودة

القياسات ونستطيع أن نحدد قيمة الخطأ. وهنا تكون لدينا رصدة واحدة زائدة حيث أن عدد الأرصاد الفعلية للمثلث هو ٢ بينما عدد الأرصاد المقاسة هو ٣.

الضبط بطريقة مجموع أقل المربعات Least-Squares Adjustment

توجد عدة طرق لضبط شبكات الأرصاد المساحية Network Adjustment مثل (١) طريقة أقل مجموع Least Sum والتي تعتمد علي ضبط الأرصاد بحيث يكون مجموع الأخطاء المتبقية أو الفروق Residuals أقل ما يمكن، (٢) طريقة مجموع أقل المربعات Least-Squares والتي تعتمد علي جعل مربعات الأخطاء المتبقية أقل ما يمكن. وهذه الطريقة الثانية هي الأشهر و الأكثر استخداما في أعمال المساحة و الجيوديسيا. وقد أثبتت الدراسات الرياضية و الإحصائية أن حل مجموعة من المعادلات - بحيث يكون مجموع مربعات الأخطاء المتبقية أقل ما يمكن – ينتج عنه أدق قيم العناصر المجهولة في هذه المعادلات. الشرط الرئيسي للضبط بطريقة مجموع أقل المربعات أن لا تحتوي الأرصاد (القياسات) الأصلية علي أي أخطاء منتظمة أو أغلاط أو أخطاء تراكمية، إنما فقط الأخطاء العشوائية. أي يجب معالجة الأخطاء المنظمة واكتشافها و إزالتها من الأرصاد قبل البدء في تنفيذ ضبط أقل مجموع مربعات.

يوجد أسلوبين لتنفيذ ضبط الشبكات في طريقة مجموع أقل المربعات:

(أ) طريقة معادلات الرصد Observation Equations:

يتم تكوين معادلة رياضية تربط بين القيمة المرصودة (الرصدة) والقيم المجهولة ، ثم يتم حل هذه المعادلات معا. كما تسمي هذه الطريقة أيضا باسم الضبط المباشر Parametric Adjustment حيث أن القيم المجهولة Parameters تظهر مباشرة في معادلات الرصد المطلوب حلها.

(ب) طريقة معادلات الشرط Condition Equations:

يتم تكوين معادلات شرطية بحيث تحقق كل معادلا منهم شرطا رياضيا معينا يجب تحقيقيه في الأرصاد المساحية، ثم يتم حل هذه المعادلات معا لحساب قيم العناصر المجهولة. وتسمي هذه الطريقة أيضا باسم الضبط الشرطي Conditional Adjustment.

٨-٦ التحليل المكاني للبيانات

كما أن هناك مؤشرات أو معاملات إحصائية لوصف و تلخيص و تحليل البيانات غير المكانية فأن هناك مؤشرات إحصائية لوصف و تحليل البيانات المكانية (المواقع الجغرافية) للظاهرات من حيث خصائصها المكانية وانتشارها المكاني. إن تحليل البعد المكاني للظاهرة يعد مكملا أساسيا لتحليل قيم الظاهرة ذاتها، فأي ظاهرة علي سطح الأرض تحتاج لفهمها إلي تحليل مواضع و أبعاد و أحجام مفرداتها مكانيا.

٨-٦-١ مقاييس النزعة المركزية المكانية

تقدم مقاييس التمركز central tendency معلومات عن المركز المتوسط أو المركز الوسيط لمجموعة من التوزيعات المكانية بهدف: (١) مقارنة بعد المركز الواقعي (المركز الإداري مثلا) عن المركز المثالي للتوزيع، و (٢) التعرف علي الموقع المتوسط المناسب ليكون مركزا للخدمات العامة أو الأسواق أو المصانع. لتحديد تمركز أي ظاهرة مكانيا نستخدم المركز المتوسط أو المركز المتوسط الموزون.

المركز المتوسط Mean Center

المركز المتوسط هو الموقع (أو النقطة) التي تتوسط المواقع الجغرافية (الإحداثيات) لمفردات الظاهرة قيد الدراسة. ويتم حساب موقع (إحداثيات) المركز المتوسط كمتوسط لقيم إحداثيات مواقع مفردات التوزيع:

الإحداثي س للمركز المتوسط = متوسط الإحداثيات س لجميع نقاط التوزيع

= مجموع الإحداثيات س / عدد نقاط التوزيع (٨-١٩)

الإحداثي ص للمركز المتوسط = متوسط الإحداثيات ص لجميع نقاط التوزيع

= مجموع الإحداثيات ص / عدد نقاط التوزيع (٨-٢٠)

$$X_{mc} = \sum x_i / n \quad (8\text{-}19)$$

$$Y_{mc} = \sum y_i / n \quad (8\text{-}20)$$

حيث:

X_{mc}, Y_{mc} إحداثيات المركز المتوسط

x_i, y_i إحداثيات نقاط الظاهرة

n عدد النقاط

المركز المتوسط الموزون Weighted Mean Center

في الجزء السابق تم حساب المركز المتوسط بافتراض أن جميع مفردات الظاهرة لها نفس الأهمية أو نفس الوزن. لكن من الممكن أن يختلف الوزن أو معامل الأهمية بدرجة متفاوتة، وفي هذه الحالة سيختلف موقع المركز المتوسط بعد الأخذ في الاعتبار الاختلاف في أوزان مفردات الظاهرة، ومن هنا فنطلق عليه اسم المركز المتوسط الموزون ويتم حسابه كالتالي:

الإحداثي س للمركز المتوسط الموزون = مجموع (الإحداثي س × الوزن) / مجموع الأوزان

الإحداثي ص للمركز المتوسط الموزون= مجموع (الإحداثي ص × الوزن) / مجموع الأوزان

$$X_{mc} = \sum x_i w_i \Big/ \sum w_i \qquad (8\text{-}21)$$

$$Y_{mc} = \sum y_i w_i \Big/ \sum w_i \qquad (8\text{-}22)$$

حيث:

w_i الوزن عند كل نقطة

٨-٦-٢ مقاييس التشتت و الانتشار المكانية

توجد عدة مؤشرات إحصائية لقياس مدي التشتت و الانتشار المكاني في مواقع مفردات ظاهرة معينة.

المسافة المعيارية Standard Distance

تعد المسافة المعيارية هي المقابل في التحليل المكاني لمؤشر الانحراف المعياري المستخدم في تحليل البيانات غير المكانية، أي أنها مؤشر لقياس مدي تباعد أو تركز مفردات الظاهرة مكانيا. وغالبا يتم استخدام قيمة المسافة المعيارية لرسم دائرة تسمي الدائرة المعيارية Standard Circle والتي يمكن من خلالها معرفة مدي تركز أو انتشار البعد المكاني للظاهرة، ويكون مركز هذه الدائرة هو موقع (إحداثيات) المركز المتوسط. كلما كبرت قيمة المسافة المعيارية و كبر حجم الدائرة المعيارية كلما دل ذلك علي زيادة الانتشار و التشتت المكاني لتوزيع الظاهرة، و العكس صحيح أيضا.

وتقوم فكرة المسافة المعيارية علي حساب الجذر التربيعي لمجموع مربعات انحرافات القيم س،ص عن المتوسط الحسابي مع قسمته علي عدد قيم النقاط، بحيث يكون الناتج رقما يبين

مدي تركيز ٦٨% من القيم (الإحداثيات) حول نقطة المتوسط. ومن ثم فأن هذه المسافة تظهر مدي انتشار و اختلاف مجموعة من النقاط حول المركز المتوسط لها، و تحسب من المعادلة:

المسافة المعيارية = √ ([(مج (س – س')^٢ / ن] + [(مج (ص –ص')^٢ / ن]) (٨-٢٣)

$$SD = \sqrt{(\sum (x - x^{-})^2 / n) + (\sum (y - y^{-})^2 / n)} \qquad (8\text{-}23)$$

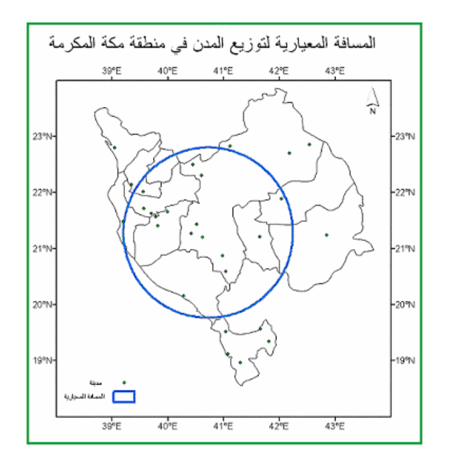
أما في أخذ الأوزان في الاعتبار فأن:

المسافة المعيارية الموزونة = √ ([(مج و × (س – س')^٢ / مج و] +
[(مج و × (ص –ص')^٢ / مج و]) (٨-٢٤)

$$SD = \sqrt{(\sum w(x - x^{-})^2 / \sum w) + (\sum w(y - y^{-})^2 / \sum w)} \qquad (8\text{-}24)$$

حيث:

x^{-}	أو س'	متوسط الإحداثي س لجميع مفردات الظاهرة
y^{-}	أو ص'	متوسط الإحداثي ص لجميع مفردات الظاهرة
w_i	أو و	قيمة الوزن لكل مفردة من مفردات الظاهرة
n	أو ن	عدد نقاط توزيع الظاهرة



شكل (٨-٧) مثال للمسافة المعيارية

الاتجاه التوزيعي Directional Distribution

يعبر الاتجاه التوزيعي (ويسمي أيضا الشكل البيضاوي المعياري للتشتت Standard Deviational Ellipse) عما إذا كان التوزيع المكاني للظاهرة له اتجاه محدد. لذلك من الممكن الحصول علي شكل بيضاوي يعبر عن خصائص التوزيع الاتجاهي حيث يكون مركز

هذا الشكل البيضاوي منطبقا علي نقطة المركز المتوسط ويقيس محوره الأكبر قيمة الاتجاه الذي تأخذه معظم مفردات الظاهرة.

يتم حساب عناصر الاتجاه التوزيعي كالآتي:

زاوية انحراف المحور الأكبر (زاوية التوزيع) = ز = ظا-١ (أ + ب) / ج (٨-٢٥)

$$\theta = \tan^{-1}(a+b)/c \tag{8-25}$$

حيث:

أ = مج (س- س')٢ – مج (ص- ص')٢ (٨-٢٦)

ب = √ [(مج (س- س')٢ – مج (ص- ص')٢)٢ + ٤ (مج س×ص)٢] (٨-٢٧)

ج = ٢ مج ((س – س') × (ص – ص')) (٨-٢٨)

$$a = \sum (x - x^{-})^2 - \sum (y - y^{-})^2 \tag{8-26}$$

$$b = \sqrt{(\sum (x - x^{-})^2 - (\sum (y - y^{-})^2)^2 + 4\sum (xy)^2} \tag{8-27}$$

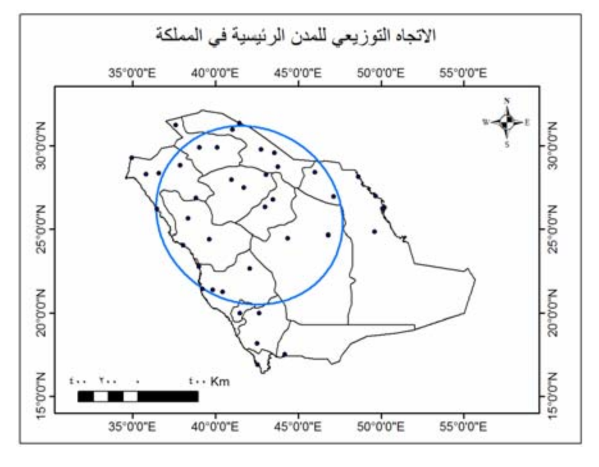
$$c = 2\sum (x - x^{-})(y - y^{-}) \tag{8-28}$$

محور التوزيع في اتجاه س = √ [(مج ((س – س')×جتا ز – (ص– ص')× جا ز)٢]/ن

محور التوزيع في اتجاه ص = √ [(مج ((س – س')×جا ز – (ص– ص')× جتا ز)٢]/ن

$$x_{dd} = \sqrt{[\sum ((x - x^{-})\cos\theta - (y - y^{-})\sin\theta))^2]/n} \tag{8-29}$$

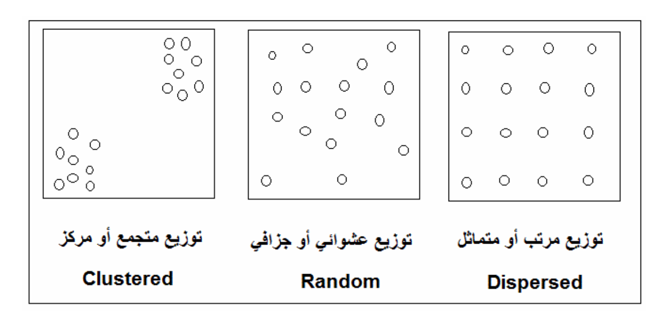
$$y_{dd} = \sqrt{[\sum ((x - x^{-})\sin\theta) - (y - y^{-})\cos\theta))^2]/n} \tag{8-30}$$



شكل (٨-٨) مثال للاتجاه التوزيعي

مربع كاي

إن معظم الظاهرات المكانية تكون أنماطها خليط بين التكتل و العشوائية و الانتشار المنتظم.



شكل (٨-٩) أنواع أو أنماط التوزيعات

يقدم تحليل مربع كاي Chi Square (كاي هو الحرف اللاتيني: χ^2) مؤشرا يحدد عما إذا كان التوزيع المكاني لظاهرة يقترب من توزيع نظري معين. يعتمد إجراء تحليل مربع كاي علي تغطية منطقة الدراسة بشبكة من المربعات المتساوية، ثم استخراج عدد مفردات الظاهرة الواقعة في كل مربع من مربعات هذه الشبكة ومقارنة هذا العدد بالعدد المتوقع في حالة التوزيع المنتظم. يتم حساب قيمة مربع كاي الفعلية من المعادلة:

مربع كاي = مج (أ – ب)٢ / ب (٨-٣١)

$$\kappa^2 = \sum (n_1 - n_2)^2 / n_2 \quad (8\text{-}31)$$

حيث:

n_1 أو أ عدد نقاط الظاهرة الواقعة فعليا في المربع

n_2 أو ب عدد نقاط الظاهرة المفترض وقوعها في المربع

وتجدر الإشارة إلي أن في حالة كون توزيع الظاهرة توزيعا منتظما فأن قيمة معامل كاي ستصبح صفر، أي أنه كلما اقتربت قيمة المعامل من الصفر كلما كان التوزيع الفعلي للظاهرة قريبا من التوزيع النظري المنتظم أو المرتب. أما القيمة القصوى لمعامل مربع كاي فتحدث عندما تتجمع جميع النقاط في مربع واحد (حالة التوزيع المتجمع أو المركز)، أي أن حسابها يعتمد علي عدد نقاط الظاهرة و عدد المربعات المستخدمة في التحليل.

الجار الأقرب Average Nearest Neighbor

يحاول هذا التحليل المكاني معرفة نمط pattern انتشار ظاهرة معينة جغرافيا أو مكانيا، وذلك من خلال مقارنة التوزيع الفعلي للظاهرة مع توزيع نظري معين. ومقياس الجار الأقرب (يسمي أيضا بمعامل صلة الجوار) يمثل نسبة المسافة المقاسة (متوسط المسافات من كل نقطة إلي أقرب نقطة لها) مقسومة علي المسافة النظرية أو المسافة المتوقعة في حالة النمط العشوائي لنفس عدد النقاط ونفس مساحة الظاهرة علي الأرض. ويحسب معامل الجار الأقرب بعدة صور منها:

معامل الجار الأقرب = ل = ٢ م √ (ن / ح) (٨-٣٢)

$$NN = 2m_d \sum (n/A) \quad (8\text{-}32)$$

أو:

معامل الجار الأقرب = ل = م / م٢ (٨-٣٣)

$$NN = m_d / m_{\exp} \quad (8\text{-}33)$$

حيث:

m_d أو م متوسط المسافات الفعلية

n أو ن عدد النقاط

A أو ح مساحة منطقة الدراسة

m_{exp} أو م٢ متوسط المسافة المتوقعة (النظرية):

م٢ = ١ / √ ك = ١ / √ (ن / ح) (٨-٣٤)

حيث:

ك = الكثافة

$$m_{\exp} = 1/\sqrt{(n/A)} \quad (8\text{-}34)$$

وتتراوح قيمة معامل صلة الجوار بين الصفر و ٢.١٥ وكلما اقتربت من الصفر كان التوزيع متجمعا و كلما اقتربت من الحد الأقصى كلما كان التوزيع منتظما، بينما القيمة ١ تدل علي التوزيع العشوائي الكامل.

النمط	قيمة معامل الجار الأقرب	النمط الفرعي	قيمة معامل الجار الأقرب
المتقارب/المتجمع	أقل من ١.٠	متجمع تماما	صفر
		متقارب لكن غير منتظم	من صفر إلي ٠.٥
		متقارب يتجه ناحية العشوائي	من ٠.٥ إلي ١.٠
العشوائي	١.٠		
المتباعد/المنتظم	أكبر من ١.٠	المتباعد في المسافات	من ١.٠ إلي ٢.٠
		المنتظم (شكل المربع)	٢.٠
		المنتظم (الشكل السداسي)	أكبر من ٢.٠

معامل الارتباط الذاتي (معامل موران) Spatial Autocorrelation Coefficient (Moran Index)

مثل معامل الجار الأقرب فأن معامل الارتباط الذاتي (يسمي بمعامل موران نسبة للعالم الذي أبتكره) يحاول معرفة نمط انتشار ظاهرة معينة جغرافيا أو مكانيا، وذلك من خلال دراسة التماثل في توزيع مفردات الظاهرة مكانيا ومدي الارتباط الذاتي بينهم. تتراوح قيم معامل موران بين -١ و +١، وان كانت قيمته قريبه من -١ فيدل ذلك علي النمط المتشتت أو المتباعد وان كانت قريبة من +١ دلت علي النمط المتجمع أو المتقارب، بينما إن كانت القيمة قريبة من الصفر فتشير للنمط العشوائي في التوزيع المكاني. وتحسب قيمة معامل موران من المعادلة:

موران = (ن / س١) ×

[(مج$^{n}_{i=1}$ مج$^{i}_{j=1}$ (س$_{i}$ – س') × (س$_{j}$ – س') × و) / مج (س$_{i}$ – س')٢] (٨-٣٥)

$$I = n\sum_{i}^{n}\sum_{j}^{n} w_{ij}(x_i - x^-)(x_j - x^-) \Big/ (\sum_{i}^{n}\sum_{j}^{n} w_{ij})\sum_{i}^{n}(x_i - x^-)^2 \qquad (8\text{-}35)$$

س١ = مج$^{n}_{i=1}$ مج$^{i}_{j=1}$ و$_{i,j}$.

x_i أو س$_{i}$ تمثل الخلية (العنصر) رقم **i** من مفردات الظاهرة، حيث **i** يتراوح من ١ إلي ن.

x_j أو س$_{j}$ تمثل الخلية (العنصر) رقم **j** من مفردات الظاهرة، حيث **j** يتراوح من ١ إلي **i**.

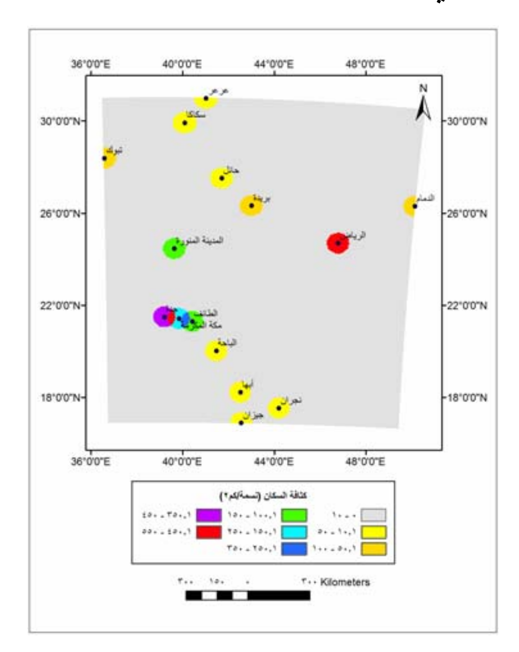
أي أنه يتم تنفيذ عملية الجمع الثنائي – في المعادلة السابقة - عدد من المرات بين كل مفردة من مفردات الظاهرة و باقي المفردات حتى يمكن الوصول في النهاية إلي قيمة معامل موران لهذه الظاهرة.

تحليل الكثافة Density

تحليل الكثافة يوضح بصورة خرائطية مدي التغير في كثافة توزيع الظاهرة علي امتداد منطقة الدراسة، بمعني أن ناتج هذا التحليل لن يكون رقما واحدا يعبر عن كثافة الظاهرة علي كامل امتدادها الجغرافي إنما يمثل التغير في كثافات الظاهرة من مكان إلي آخر في منطقة الدراسة. من الممكن تطبيق تحليل الكثافة علي الظاهرات الموضعية وأيضا علي الظاهرات الخطية.

كثافة الظاهرات النقطية Point Density

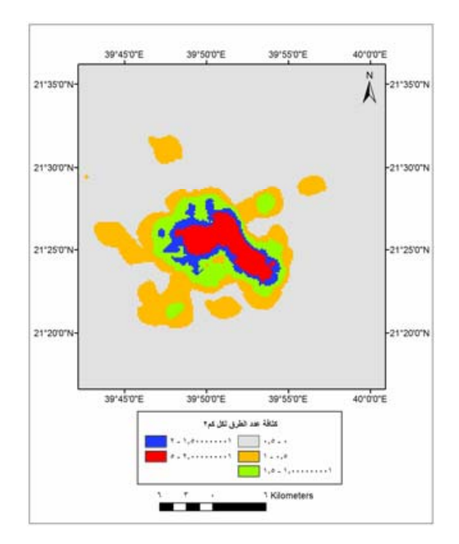
يتيح تحليل كثافة الظاهرات النقطية رسم خريطة سطوح surface map تبين مدي التغير في كثافة توزيع الظاهرة علي امتداد منطقة الدراسة. عند استخدام قيم غير مكانية معينة فأن الخريطة ستمثل التغير في كثافة هذه القيم حول مواقع نقاط الظاهرة ذاتها، فمثلا بمعرفة عدد السكان في بعض المدن يمكن استنباط خريطة تمثل التغير المكاني في أعداد السكان علي امتداد منطقة الدراسة التي تحتوي هذه المدن:



شكل (٨-١٠) كثافة توزيع السكان في المدن السعودية الرئيسية

كثافة الظاهرات الخطية Line Density

يحدد تحليل كثافة الظاهرات الخطية (الطرق مثلا) رسم خريطة سطوح surface map تبين مدي التغير في كثافة توزيع الظاهرة علي امتداد منطقة الدراسة:

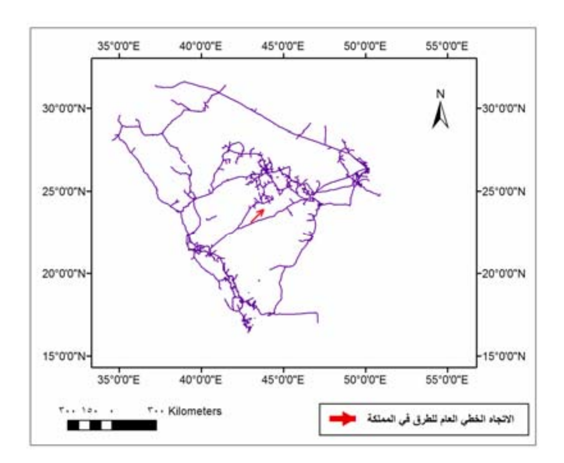


شكل (٨-١١) كثافة أعداد الطرق الرئيسية في مدينة مكة المكرمة

الاتجاه العام للمعالم الخطية Linear Directional Mean

يعطي هذا التحليل الاتجاه العام للتوزيع المكاني أو الجغرافي لظاهرة خطية (مثل شبكة الطرق) حيث يمكن تحديد متوسط أطوال مفردات الظاهرة و الاتجاه المكاني العام لتوزيعها علي الأرض. وكمثال فأن الشكل التالي يحدد الاتجاه العام لتوزيع شبكة الطرق الرئيسية في المملكة العربية السعودية:

- الاتجاه العام = ٤٨.٨° أي الشمال الشرقي
- متوسط أطوال الطرق = ١٦٢٨٠ متر



شكل (٨-١٢) اتجاه توزيع الطرق الرئيسية في المملكة

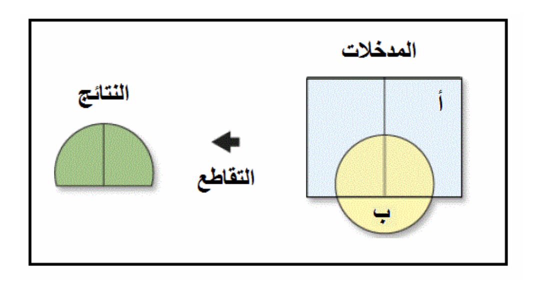
٨-٧ تحليلات طبقات نظم المعلومات المكانية

يعد تحليل التراكب Overlay Analysis (ويسمي أيضا بالمعالجة الجغرافية Geo Processing) أحد أهم التحليلات المكانية التي تعني بتحليل الخصائص بين طبقتين أو أكثر وإنتاج طبقة جديدة تشتمل علي هذه الخصائص المشتركة. يتم تنفيذ هذا النوع من التحليلات المكانية علي الملفات الخطية Vector (الطبقات Shapefiles) فقط وبشرط أن تتماثل الطبقتين في كلا من المرجع الجغرافي Datum و المسقط projection ونوع الإحداثيات Coordinate System. أيضا يوجد نوع آخر من التحليلات المكانية للطبقات يسمي بتحليل الاقتراب Proximity Analysis ويعني بتحديد مدي قرب المظاهر المكانية من بعضها البعض. ومن أهم أدوات تحليل الاقتراب أداة الحرم (أو الحزام) المكاني. وتشمل تحليلات التراكب وتحليلات الاقتراب عدة أنواع سنتناول بعضهم فقط في الأجزاء التالية.

٨-٧-١ أدوات تحليل التراكب

تحليل التقاطع Intersection

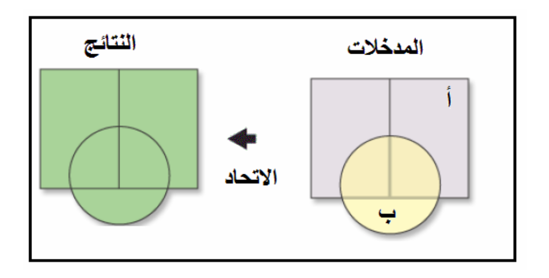
يهدف هذا التحليل لإيجاد الجزء (المعالم) المشاركة بين طبقتين أو أكثر. فإذا كان لدينا طبقتين أ، ب فأن الطبقة الجديدة الناتجة عن تنفيذ أمر التقاطع ستحتوي جميع المعالم المشتركة بينهما أي المظاهر التي تتواجد في كلتا الطبقتين. وستشمل قاعدة البيانات غير المكانية Attribute Table للطبقة الجديدة كلا من خصائص (أعمدة) الطبقة الأولي و الطبقة الثانية للمعالم المشتركة:



شكل (٨-١٣) تحليل التقاطع

تحليل الاتحاد Union

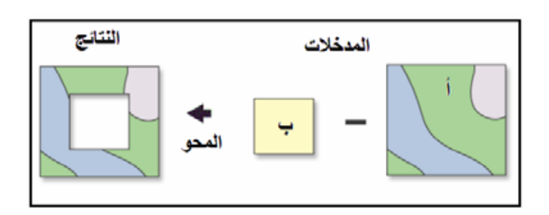
ويهدف لتوحيد جميع معالم (ظاهرات) طبقتين أو أكثر في طبقة جديدة. فإذا كان لدينا طبقتين أ، ب فأن الطبقة الجديدة الناتجة عن تنفيذ أمر الاتحاد ستحتوي جميع معالم الطبقة الأولي بالإضافة لجميع معالم الطبقة الثانية:



شكل (٨-١٤) تحليل الاتحاد

تحليل المحو Erase

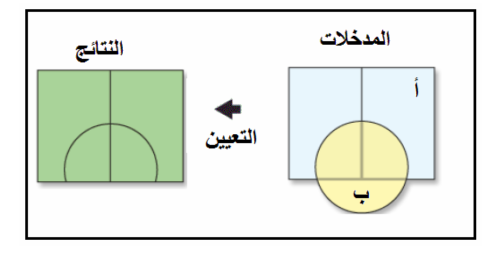
تعد وظيفة هذا التحليل عكس وظيفة أداة التقاطع، أي أن الطبقة الجديدة الناتجة ستشمل فقط المعالم غير المشتركة بين الطبقتين الأصليتين:



شكل (٨-١٥) تحليل المحو

تحليل التعيين Identify

إن وظيفة هذا التحليل هي ناتج وظيفتي الاتحاد union و المحو erase معاء بمعني أن تحليل التعيين سيقوم أولا باتحاد كلا الطبقتين معا ثم يقوم ثانيا بمحو الأجزاء غير المشتركة بينهما:



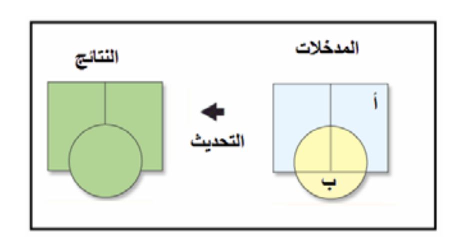
شكل (٨-١٦) تحليل التعيين

تحليل الربط المكاني Spatial Join

يعمل هذا التحليل إضافة أعمدة من قاعدة البيانات غير المكانية attribute table للطبقة الثانية إلي قاعدة البيانات غير المكانية للطبقة الأولي.

تحليل التحديث Update

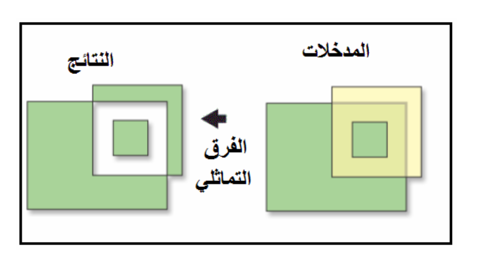
كما هو واضح من أسمه فأن هذا التحليل يقوم بتحديث معالم الطبقة الأولي بمعالم طبقة التحديث الثانية. أي أن الطبقة الجديدة ستحتوي المعالم غير المشتركة (مثل أداة المحو) بالإضافة لمعالم الطبقة الثانية:



شكل (٨-١٧) تحليل التحديث

تحليل الفرق التماثلي Symmetrical Difference

ويعمل تحليل الفرق التماثلي علي تنفيذ اتحاد union بين طبقتين مع استبعاد المنطقة المشتركة بينهما:



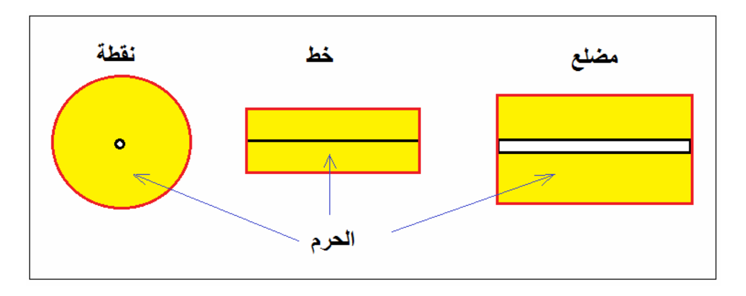
شكل (٨-١٨) تحليل الفرق التماثلي

٨-٧-٢ أدوات تحليل الاقتراب

وتهدف هذه المجموعة من أدوات التحليل المكاني لتحديد مدي اقتراب (أو قرب) المعالم المكانية من بعضها البعض.

تحليل الحرم المكانى Buffer

الحرم المكاني أو الحزام المكاني هو تحديد مسافة معينة كحرم أو منطقة اقتراب من معالم مكانية محددة. كمثال فأن مواصفات الهندسة المدنية تنص علي ضرورة أن يكون لكل طريق (أو خط سكة حديدية) حرم مكاني يمنع البناء أو إقامة أية منشئات عليه، و غالبا يسمي باسم "حرم الطريق" ويكون علي بعد أو مسافة ٥٠ مترا علي كلا جانبي الطريق ذاته.



شكل (٨-١٩) تحليل الحرم المكاني

تحليل أقرب ظاهرة Near

يحدد هذا التحليل أقرب ظاهرة المسافة بين معالم الطبقة الأولي و أقرب معلم لها من معالم الطبقة الثانية. فمثلا إن كان لدينا طبقتي مدارس و طرق ونريد أن نحدد أقرب طريق لكل مدرسة من المدارس وبأي مسافة يبعد عنها.

تحليل المسافة بين النقاط Point Distance

يحسب هذا التحليل قيمة المسافات بين كل معلم من معالم الطبقة الأولي إلي كل معلم من معالم الطبقة الثانية.

الفصل التاسع

جديد الجيوماتكس

٩-١ مقدمة

تطورت علوم و تقنيات الجيوماتكس بدرجة كبيرة في السنوات القليلة الماضية وظهرت تقنيات و تطبيقات حديثة سواء تقنيات تجميع البيانات أو طرق عرض البيانات و مشاركتها بين المستخدمين أو ظهور تطبيقات جديدة لنظم المعلومات المكانية لم تكن معروفة من قبل. وفي هذا الفصل سنحاول إلقاء الضوء - بصورة مختصرة و بسيطة - عن بعض من هذه التطبيقات أو الابتكارات الحديثة في الجيوماتكس Innovations in Geomatics.

٩-٢ جديد تجميع البيانات

٩-٢-١ أجهزة الجي بي أس المخصصة لنظم المعلومات:

مع انتشار تطبيقات تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع (الجي بي أس) ظهرت نوعية جديدة من أجهزة الاستقبال مخصصة لتجميع البيانات في إطار نظم المعلومات الجغرافية. وتتميز هذه المجموعة الجديدة من الأجهزة بعدة خصائص تناسب هذا التطبيق أو الاستخدام الحديث. فمن حيث الدقة كانت الأجهزة الملاحية التقليدية (المحمولة يدويا) تتراوح دقتها في حدود عدة أمتار قليلة، بينما كانت الأجهزة الجيوديسية تصل في دقتها الي عدة ملليمترات. وعلي الجانب الآخر فقد كانت أسعار الأجهزة الهندسية مرتفعة بدرجة تجعلها غير مناسبة لمشروعات نظم المعلومات الجغرافية. من هنا فقد تميزت المجموعة الجديدة من الأجهزة بوصولها الي دقة متوسطة (عدة ديسيمترات) مع أسعار متوسطة أيضا تجعلها اختيارا مناسبا لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية. أما ثاني مميزات هذه النوعية من أجهزة الجي بي أس فتمثل في ظهور إصدارات جديدة من برامج نظم المعلومات الجغرافية مخصصة للتثبيت و العمل علي هذه الأجهزة (مثل برنامج ArcPAD من شركة ايزري). ومن ثم فقد أصبح تسجيل البيانات غير المكانية attribute data متاحا أثناء العمل الميداني مع تحديد مواقع أو إحداثيات المظاهر المكانية المرصودة. كما توافرت إمكانيات لتصدير ملفات البيانات الميدانية الي صيغ تتعامل مباشرة مع برامج نظم المعلومات الجغرافية الشهيرة (مثل صيغة shapefiles). أيضا تتميز بعض هذه الأجهزة بوجود وسائل نقل بيانات متعددة (من خلال

البلوتوث أو الواي فاي) لتوفر نقل البيانات بين الأجهزة و الحاسبات بصورة سريعة دون الحاجة لكابلات نقل البيانات التقليدية. كما يمكن لهذه النوعية من الأجهزة أن تتواصل مع شبكات بث تصحيحات الجي بي أس (نظم الازدياد) من خلال شريحة تليفون محمول تمكنها من الولوج لشبكة الانترنت مباشرة في الموقع. ومع وجود كاميرا رقمية مدمجة داخل جهاز الجي بي أس أصبح تسجيل صور المعالم المرصودة ميدانيا في نفس الوقت أسهل وأسرع.

ويمكن تقسيم هذه الأجهزة الي فئتين رئيسيتين من حيث دقة إحداثيات المواقع المرصودة:

- أجهزة تصل دقتها الي ما دون مستوي المتر الواحد وتعتمد في طريقة عملها علي أسلوب خط القاعدة المتبع في القياسات المساحية الدقيقة حيث يوجد جهاز ثابت static يحتل نقطة معلومة الإحداثيات بينما يتحرك الجهاز الثاني rover لرصد النقاط أو المعالم الجديدة. ويقوم الجهاز الثابت بحساب أخطاء إشارات الأقمار الصناعية عند النقطة المعلومة ليستفيد منها الجهاز المتحرك (إما لحظيا من خلال بث التصحيحات أو لاحقا في المكتب في خطوة الحساب data processing) للوصول الي دقة ديسيمترات في إحداثيات النقاط الجديدة.
- أجهزة نعمل بمفردها stand alone بحيث لا يكون هناك إلا جهاز واحد فقط يمكنه الوصول الي دقة ٢-٥ متر، مع الاحتفاظ بكافة المميزات الأخرى لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية.



شكل (٩-١) نماذج لأجهزة الجي بي أس المخصصة لنظم المعلومات الجغرافية

٩-٢-٢ نظم الخرائط المحمولة:

حديثا تطورت عدة تقنيات لأسلوب جديد من أساليب تجميع البيانات وتطوير الخرائط تحت مسمي نظم الخرائط المحمولة Mobile Mapping Systems أو اختصارا MMS. وتتميز هذه الطرق بالاعتماد علي عدة تقنيات لتجميع البيانات المكانية (مثل المسح الجوي الأرضي terrestrial photogrammetry و الرادار و الليزر والجي بي أس) بصورة سريعة و دقيقة ورخيصة اقتصاديا أيضا حيث أنها تقلل من تكلفة العمل الحقلي. وتتكون مثل هذه التقنيات الحديثة من سيارة مركبا عليها مجموعة من أجهزة القياس و التسجيل مثل الكاميرات الفوتوغرافية الرقمية أو كاميرات الفيديو الرقمية وأجهزة الجي بي أس و أجهزة الليزر، بحيث يتم تجميع قياسات هذه الأجهزة بأسلوب تكاملي لحظي باستخدام جهاز كمبيوتر محمول. وبهذا الأسلوب التكاملي يمكن قياس الإحداثيات ثلاثية الأبعاد لكل المعالم المكانية التي يتم تصويرها (فوتوغرافيا أو فيديو) علي طول مسار السيارة، وتوقيع هذه القياسات لحظيا علي الخرائط علي الكمبيوتر لتطوير خريطة رقمية في نفس وقت العمل الميداني. وتصل دقة بعض نظم الخرائط المحمولة الي عدة سنتيمترات في المستوي الأفقي. ويشتهر تطبيق هذه التقنية في إنشاء و تحديث خرائط شبكات الطرق وكذلك في أعمال صيانة و إدارة شبكات المواصلات من طرق و سكك حديدية.



شكل (٩-٢) نماذج لنظم الخرائط المحمولة

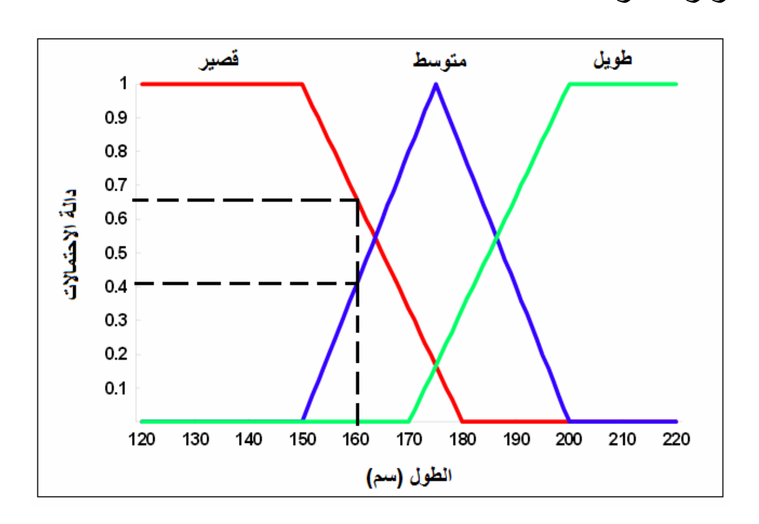
٩-٣ جديد تحليل و نمذجة البيانات

٩-٣-١ طرق الذكاء الصناعي فى تحليل البيانات

منذ عام ١٩٥٦م (١٣٧٥ هـ) صاغ العالم الأمريكي المتخصص في الكمبيوتر جون مكارثي John McCarthy مصطلح الذكاء الصناعي أو الاصطناعي Artificial Intelligence ليدل علي فرع جديد من فروع علم الكمبيوتر وخاصة في مجال البرمجيات software. ويحاول هذا العلم محاكاة عملية التفكير البشري والقدرات العقلية الإنسانية عند مواجهة موقف جديد، حيث يتم الاعتماد علي القدرة علي التعلم و الاستنتاج ورد الفعل. ومنذ ذلك الحين تطورت طرق و نظريات الذكاء الصناعي لتدخل في عدد كبير من التطبيقات مثل النظم الخبيرة ومعالجة اللغات الطبيعية وتمييز الأصوات وتمييز وتحليل الصور وكذلك التشخيص الطبي، وتداول الأسهم، والتحكم الآلي، والقانون، والاكتشافات العلمية، وألعاب الفيديو ولعب الأطفال ومحركات البحث على الإنترنت. وفي السنوات الماضية تم الاعتماد علي طرق الذكاء الصناعي في الجيوماتكس وخاصة في مجال تحليل بيانات نظم المعلومات الجغرافية، ومنها طرق المنطق الضبابي و الشبكة العصبية الصناعية و الأتمتة الشبكية.

يعد **المنطق الضبابي أو منطق الغموض Fuzzy Logic** أحد أساليب الذكاء الصناعي التي تسعي لمحاكاة التفكير المنطقي البشري خاصة في مجال معالجة و تحليل البيانات. والفكرة الرئيسية لهذا الأسلوب تعتمد علي تطوير برامج جديدة يمكنها التعامل مع المعلومات غير الدقيقة علي غرار الإنسان، بعكس البرامج الحاسوبية التقليدية المبنية علي فكرة أن المدخلات input دقيقة بالفعل. ولنحاول أن نفهم أسلوب المنطق الضبابي سنتناول مثالا بسيطا: في المنطق (أو التفكير) التقليدي يمكن لعنصر معين إما أن ينتمي لمجموعة أو لا ينتمي إليها، أي أن هناك احتمالين فقط لا غير. فعلي سبيل المثال إذا كان لدينا مجموعة تمثل درجات الحرارة الباردة، ولدينا عنصر (درجة حرارة معينة) فهو إما أن ينتمي للمجموعة (أي درجة حرارة باردة) أو لا ينتمي إليها (أي درجة حرارة غير باردة). ومن ثم فأن دالة الاحتمالات في المنطق التقليدي تعطي نتائج إما رقم صفر وإما رقم واحد. ولنأتي الآن للجانب الأخر ألا وهو المنطق الضبابي: هنا من الممكن لعنصر أن يكون منتميا الي حد معين للمجموعة. فمثلا درجة الحرارة ١٢ يمكن أن نقول أنها تنتمي بنسبة ٥٠% لمجموعة درجات الحرارة الباردة، أي أنها درجة حرارة نصف باردة نصف معتدلة. ومن ثم فأن دالة الاحتمالات في المنطق الضبابي

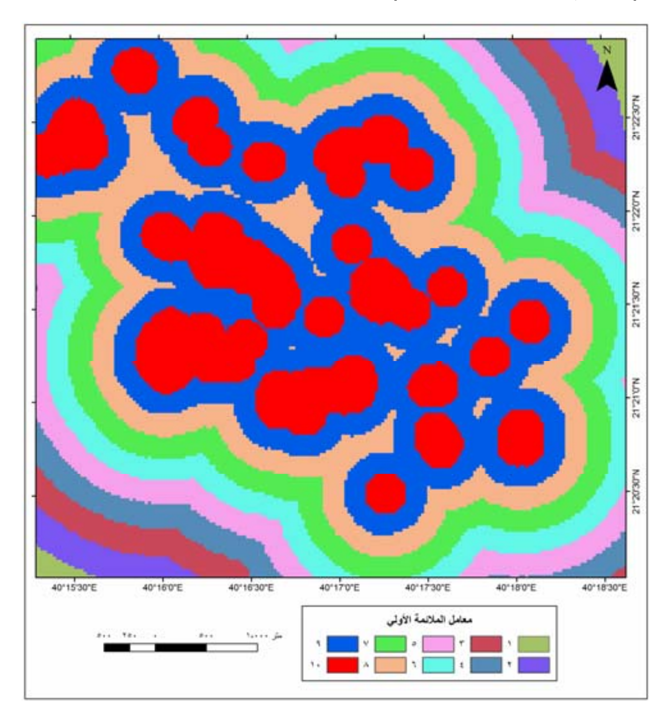
تعطي نتائج متعددة ما بين رقمي الصفر و الواحد. والشكل التالي يقدم مثالا آخر لكيفية تعريف مصطلح "الطويل" و "المتوسط" و "القصير" بين مجموعة من الطلاب بمعرفة قيمة طول كل طالب. ونري في الشكل أن قيمة الطول تنتمي للفئات الثلاثة بنسب مختلفة في نفس الوقت. فمثلا الطول ١٦٠ سنتيمتر يمكن اعتباره بنسبة ٤٠% طولا "متوسطا" وأيضا يمكن اعتباره بنسبة ٦٥% طولا "قصيرا". وبهذا التفكير يمكن أن نتحكم في درجة حرارة المكيف أو جهاز التكييف بصورة آلية (وليست بشرية مثل أجهزة التكييف العادية)، فيمكن للجهاز نفسه أن يرفع درجة حرارته عندما يشعر أن درجة حرارة الغرفة أصبحت "باردة" ويمكنه أن يخفض درجة حرارته عندما يشعر أن درجة حرارة الغرفة أصبحت "حارة" وأن يحافظ علي درجة حرارته عندما يشعر أن درجة حرارة الغرفة "معتدلة".



شكل (٩-٣) مثال لأسلوب المنطق الضبابي

عند التعامل مع البيانات في نظم المعلومات الجغرافية بالمنطق التقليدي فأن الإجابة علي أي سؤال أما أن تكون "نعم" أو "لا". فمثلا عندما نبحث عن مكان لإنشاء مدرسة جديدة فنحن نضع مجموعة من المعايير أو الشروط الواجب توافرها في هذا المكان. وعندما نستخدم أدوات التحليل المكاني التقليدية فنحن نجعل البرنامج يحدد لنا المواقع التي تلبي كل هذه الشروط مجتمعة و بنسبة ١٠٠% (مثلا باستخدام أدوات الحرم المكاني Buffer والتقاطع Intersection في أدوات التحليل المكاني في برنامج Arc GIS) وأحيانا تكون النتيجة أنه لا يوجد موقع محدد داخل هذه المنطقة الجغرافية يلبي جميع الشروط أو المعايير المطلوبة. بينما إذا أتبعنا أسلوب المنطق الضبابي فأن النتيجة ستكون مجموعة من المواقع التي تلبي المعايير بنسب مختلفة، فقد نجد مواقع تلبي المعايير بنسبة ١٠٠% و مواقع أخري تلبي المعايير بنسبة ٩٠% ومواقع تلبي المعايير بنسبة ٨٠% ..... الخ (وهذا هو الأسلوب المتبع في أداة الآلة

الحاسبة الشبكية Raster Calculator في أدوات التحليل المكاني في برنـامج Arc GIS). وبالتالي فأن أخصائي الجيوماتكس يضع مجموعة من الحلول أمام متخذ القرار ليختار هو منها الحل "الأنسب". وهذا ما يسمي بتطوير نمـاذج الملائمـة Suitability Models فـي تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية. الشكل التالي يوضح نموذج ملائمـة لإقامـة منـشئات سياحية مـستقبلية في منطقة الهدا شرق مكة المكرمة بالمملكة العربية السعودية بناءا علـي مجموعـة من المعـايير. ويتضح من الشكل أن معامل الملائمة يتدرج فـي منطقـة الدراسـة مـا بين القيمـة ١ (ملائم بنـسبة ١٠%) و القيمة ١٠ (ملائم بنسبة ١٠٠%).

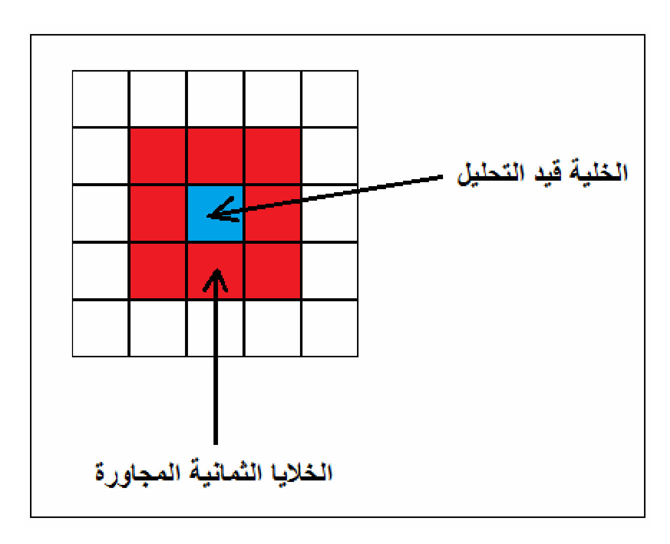


شكل (٩-٤) مثال لنموذج ملائمة مبني علي أسلوب المنطق الضبابي

أمـا **الأتمتـة الـشبكية أو الخلايـا ذاتيـة الـسلوك Cellular Automata or Cellular Automation (أو اختـصارا CA)** فهـو أسـلوب آخـر مـن أسـاليب الـذكاء الصناعي تم ابتكاره في الأربعينات من القرن العشرين الميلادي إلا أنه لم يشتهر ويبدأ فـي التطبيق حتى السبعينات. يعتمد هذا الأسلوب علي مبدأ معرفة "حالة" كل خليه cell (فـي تمثيل ثنائي الأبعاد) في مرحلة زمنية مبدئية، ثم بدراسة حالة الخلايا المجاورة لهذه الخلية في الشبكة grid، يمكن معرفة كيف ستكون حالة الخلية الأولي فـي مرحلـة زمنيـة تاليـة. ففـي الشكل التـالي توجد الخلية الرئيسية قيد الدراسة (الخلية الزرقاء) وحولها ٨ خلايا مجـاورة (الخلايـا الحمـراء). فعند لحظة زمنية مبدئيـة t_0 نقوم نحن بأنفسنا بتحديد "حالـة" كل خليـه من هذه الخلايـا التسعة

(الخلية الرئيسية و الخلايا المجاورة لها)، وهذه الحالة إما أن تكون "خلية حية ُتعطي القيمة ١ أو خلية "ميتة ُتعطي القيمة صفر. وعند الفترة أو اللحظة الزمنية التالية t يقوم أسلوب الأتمتة الشبكية بالتنبؤ بحالة الخلية الأساسية - بناءا علي حالتها وحالة الخلايا المجاورة لها - من خلال ثلاثة احتمالات لها:

- " حالة النجاة": إذا كانت الخلية حية وحولها إما جارتين أو ثلاثة أحياء ، تبقى الخلية على قيد الحياة (لا تتغير حالتها).
- "حالة الولادة": إذا كانت الخلية ميتة وحولها ٣ جارات أحياء، و من ثم يتم تشغيل الخلية (إعطاؤها قيمة = واحد).
- " حالة الموت": ما تبقى من حالات، ومن ثم يتم إطفاء الخلية (إعطاؤها قيمة = صفر).



شكل (٩-٥) مبدأ أسلوب الأتمتة الشبكية

يعتمد التنبؤ بالحالة المستقبلية للخلية علي عدة عوامل تحدد طبيعة الخلايا المجاورة، أي أن أسلوب الأتمتة الشبكية يعد أسلوبا ديناميكيا يمكنه إعداد عدد من السيناريوهات المستقبلية لطبيعة النمو الشبكي للزاهرة قيد الدراسة. فإذا أخذنا تطبيق الأتمتة الشبكية في مجال دراسات النمو العمراني (وهو من أهم تطبيقات هذا الأسلوب و أوسعها انتشارا) ففيه يقوم البرنامج بدراسة كل خليه تنتمي مثلا لنوع العمران من أنواع استخدامات الأراضي، ويبدأ في معرفة طبيعة الخلايا المجاورة لها (أي نوع من استخدامات الأراضي موجود في كل خليه من هذه الخلايا المجاورة) عند اللحظة الزمنية المبدئية t_o، كما يقوم البرنامج بتحديد العلاقة بين الظاهرة الرئيسية (العمران) والظاهرات الأخرى المؤثرة. بهذا الأسلوب يستطيع البرنامج أن يحدد

نموذج لعلاقة بين العمران و باقي أنواع استخدامات الأراضي، فمثلا يمكن عمل نموذج بين العمران و ميول الأرض ونموذج بين العمران و شبكة الطرق ....الخ. وعند اللحظة الزمنية المستقبلية t يبدأ البرنامج في تحديد حالة الخلية الرئيسية بناءا علي حالات الخلايا المجاورة لها. ومن ثم يمكن للبرنامج أن يعطي لنا صورة عامة ديناميكية عن التوسع العمراني المستقبلي لهذه المنطقة الجغرافية (المدينة) وبأي معدل و في أي اتجاهات سيكون النمو العمراني المستقبلي. ويتضح أن أسلوب الأتمتة الشبكية ذو طبيعة ديناميكية يسمح لنا بدراسة عدة سيناريوهات، فمثلا إذا توسعت شبكة الطرق الحالية في منطقة معينة بصورة محددة فكيف سيكون النمو العمراني عندئذ، وإذا توسعت شبكة الطرق بصورة ثانية فكيف سيكون النمو العمراني ... وهكذا. وربما ُتعد هذه الحقيقة من أهم مميزات أسلوب الأتمتة الشبكية حيث يقدم لمتخذي القرار عدة سيناريوهات مستقبلية محتملة ليتم دراستها وبيان مميزات و عيوب وخصائص كل سيناريو و الآثار المتوقعة منه. ومن هنا انتشرت تطبيقات الأتمتة الشبكية في مجال تحليل و نمذجة الظاهرات ذات الطبيعة الديناميكية مثل النمو العمراني و التصحر و الكوارث الطبيعية واستخدامات الأراضي. كما يتميز هذا الأسلوب أيضا بإمكانية تطوير برامج حاسوبية software تعمل داخل إطار أو بيئة نظم المعلومات الجغرافية (مثل برنامج SLEUTH).

أما **الشبكة العصبية الصناعية Artificial Neural Network (أو اختصارا ANN)** فهو أحد أساليب الذكاء الصناعي التي تحاول محاكاة الجهاز العصبي في مخ الإنسان، من خلال القدرة علي التعلم و القدرة علي تمييز الأشياء و القدرة علي اتخاذ القرار. فالجهاز العصبي للمخ البشري (المكون من شبكة من مليارات الخلايا العصبية) يستطيع أن يخزن المعلومات والصور و الأصوات وباقي الإشارات التي تصله من الحواس البشرية الخمسة، كما يستطيع أن يتعلم عن طريق التكرار و الخطأ. تحاول الشبكة العصبية الصناعية أن تقوم بنمذجة علاقة بين عدد كبير من المعطيات input عن طريق التعلم أو بناءا علي خبرات سابقة. فكمثال بسيط فأن طريقة الانحدار الخطي linear regression (كما في المعادلة ٨-١٣) يعتمد علي أننا قد قمنا مسبقا بتحديد طبيعة العلاقة بين المتغير التابع و المتغير المستقل علي أنها علاقة خطية ونحاول أن نحسب قيم معاملي معادلة الخط المستقيم هذه. لكن هل العلاقة بين هذين المتغيرين فعلا علاقة خطية؟ أم هناك نماذج رياضية أخري ربما تستطيع أن تحدد طبيعة هذه العلاقة بدقة أكبر؟. ومن هنا يأتي الفرق الأساسي في تطبيق ANN كنموذج تنبؤ غير ثابت أو ديناميكي dynamic بعكس النماذج الرياضية الثابتة static للانحدار. هذا هو جوهر أسلوب

الشبكة العصبية الصناعية، فالأسلوب يحاول أن يطور علاقة بين مجموعة من المتغيرات ثم يجرب نتائج هذه العلاقة علي مجموعة من البيانات المعروف عندها طبيعة العلاقة (بيانات التدريب أو التعلم training or learning data) ليعيد تطوير أو استنباط العلاقة بين المتغيرات بدقة أفضل، ثم يطبق النموذج أو العلاقة النهائية علي باقي قاعدة البيانات ليقدم لنا النتائج الكاملة. ومن ثم فأن أهم تطبيقات هذا الأسلوب في مجال النمذجة المكانية spatial modeling أو نمذجة الظاهرات المكانية المتغيرة والمعتمدة في نفس الوقت علي عدد كبير من المدخلات input. فعلي سبيل المثال يمكن استخدام هذا الأسلوب من أساليب الذكاء الصناعي في تحديد "أفضل" مسار بين نقطتين للانتقال من نقطة الي أخري علي شبكة الطرق في مدينة معينة، سواء إن كان هذا المسار يعبر عن "أقصر مسافة" بين النقطتين أو يعبر عن "أسرع طريق" يستغرق أقل وقت للوصول بينهما. وبالطبع في هذا المثال يجب وضع مواصفات شبكة الطرق في الطبقة المستهدفة بأن نحدد لكل طريق عرضه و عدد حارات المرور به و سرعة السير عليه وان كان طريقا مزدوج الاتجاهات أم طريق ذو اتجاه واحد ....الخ. وفي خطوة لاحقة يمكن لأسلوب ANN أن "يتعلم" إيجاد حلول بديله، فمثلا إن حدثت حادثة مرورية في طريق معين وتم إغلاقه فيقوم البرنامج بتحاشي المرور في هذا الطريق لينتج لنا بديل جديد لكيفية الانتقال من الموقع الأول للموقع الثاني المطلوب.

وبصفة رئيسية يُستخدم أسلوب الشبكة الصناعية العصبية في إطار نظم المعلومات الجغرافية في مجالين: (١) نمذجة العلاقة بين مجموعة من المتغيرات بدقة، فعلي سبيل المثال قامت دراسة بتطوير نموذج ANN لدرجة حرارة المياه في بحيرة بناءا علي قياسات الحرارة و الضغط و الرطوبة وعمق المياه عند محطات القياس ثم تطبيق هذه العلاقة لحساب درجة حرارة المياه في كل أجزاء البحيرة، بينما تم في دراسة أخري تطبيق أسلوب ANN لتحسين طريقة التصنيف الآلي un-supervised classification للمرئيات الفضائية، (٢) التنبؤ المستقبلي لظاهرة معينة مثل التنبؤ بطريقة انتشار الأمراض و التنبؤ بامتداد النمو العمراني والتنبؤ بآثار الكوارث الطبيعية والتنبؤ بتغير الظاهرات المناخية، ومن ثم فهو أسلوب مناسب لتطبيقات التخطيط بصفة عامة وعمليات اتخاذ القرار.

٩-٣-٢ خدمات حسابات الجي بي أس علي الانترنت:

من المعلوم أن معلومات مدار القمر الصناعي التي يبثها كل قمر من أقمار الجي بي أس تعد أفضل معلومات عن المدار المتوقع للقمر الصناعي. هذه المعلومات مهمة جدا لمستخدم الجي بي أس حيث أنه يعتبرها معلومات أو إحداثيات دقيقة لموقع القمر الصناعي ويعتمد عليها في حساب موقع أو إحداثيات جهاز الاستقبال ذاته. لكن الوضع في الفضاء غير مثالي ومن الممكن حدوث أي عوائق تمنع القمر الصناعي من الدوران في مداره المحدد بكل دقة. يمكن اعتبار أن قيمة الخطأ في مدار القمر الصناعي يبلغ حوالي ١٦٠ سنتيمتر (أي المدار الذي يرسله القمر الصناعي لحظيا داخل إشاراته). ومن هنا جاءت الحاجة لحساب مدار أكثر دقة لكل قمر صناعي قبل استخدامه في حساب موقع جهاز الاستقبال. تقوم الهيئة الدولية لنظم تحديد المواقع International Global Navigation Satellite Systems Service (المعروفة اختصارا باسم IGS) بحساب و نشر عدة أنواع من مدارات الأقمار الصناعية لتقنية الجي بي أس، تختلف في دقتها و أيضا موعد إتاحتها للمستخدمين علي الانترنت. وفي مجال التطبيقات الهندسية – وخاصة المساحية – التي تتطلب دقة عالية فأننا نعتمد علي أدق نوع من أنواع المدارات وهو المعروف باسم المدار الدقيق Precise Orbits حتى لو انتظرنا أسبوعين – بعد تاريخ الرصد الحقلي – للحصول عليه من IGS. وعلي الجانب الآخر فأن طبيعة أرصاد تقنية الجي بي أس تعتمد علي حساب خط القاعدة Base Line بين نقطتين أحدهما معلومة الإحداثيات أي نقطة ثوابت أرضية Control Point. لذلك فأن أية أرصاد جي بي أس يجب ربطها مع احدي النقاط المحلية معلومة الإحداثيات. وفي حالة عدم وجود شبكة ثوابت أرضية مساحية في منطقة معينة فأننا نلجأ الي استخدام الشبكة العالمية للجي بي أس IGS Network، وهي مجموعة كبيرة من النقاط الموزعة حول العالم والتي يتم رصد إشارات الأقمار الصناعية عندها بصورة مستمرة علي مدار ٢٤ ساعة ويمكن الحصول مجانا علي أرصاد أي نقطة من موقع هيئة IGS. كلتا الخطوتين (المدارات الدقيقة للأقمار الصناعية و الربط علي الشبكة العالمية للجي بي أس) يمكنان أي مستخدم من رصد إحداثيات أية نقطة أو معلم بدقة عالية، وهذا هو ما يعرف بأسلوب التحديد الدقيق للنقطة Precise Point Positioning (أو اختصارا PPP)، وهو أسلوب أرخص اقتصاديا حيث لا توجد حاجة لاستخدام الجهاز الثابت Static عند النقطة المعلومة الإحداثيات. لكن هذه الخطوات تحتاج لمستخدم ذو خبرة جيدة في المساحة و الجيوديسيا و طرق الحساب، وربما هذا لا يتوافر لدي بعض مستخدمي الجيوماتكس خاصة الجدد منهم. من هنا قامت بعض الجهات العالمية

المتخصصة بإنشاء مواقع علي شبكة الانترنت تقوم بإجراء هذه الحسابات الدقيقة لأرصاد الجي بي أس نيابة عن المستخدمين Online PPP services. يقوم المستخدم برفع ملفات أرصاد الجي بي أس التي قام بإجرائها (الأرصاد الخام raw data) الي أحد هذه المواقع الخدمية علي الانترنت، ومن ثم يقوم الموقع بحساب الإحداثيات الدقيقة لكل نقطة مرصودة وإرسال النتائج الي المستخدم غالبا في خلال ٢٤ ساعة.

والروابط التالية تقدم بعض مواقع خدمات حسابات الجي بي أس علي الانترنت:

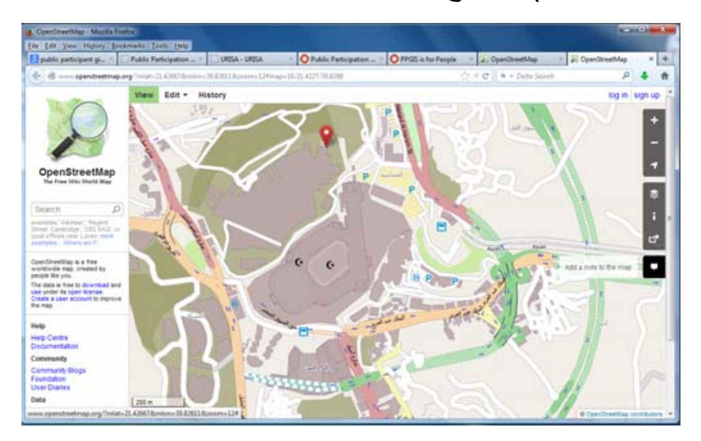
AUSPOS Service: http://www.ga.gov.au.
PPP Service: http://www.geod.nrcan.gc.ca.
SCOUT Service: http://sopac.ucsd.edu/
OPUS Service: http://www.ngs.noaa.gov.
Auto-GIPSY Service: http://milhouse.jpl.nasa.gov/ag/

٩-٤ جديد عرض و مشاركة البيانات

تقليديا كانت مشروعات نظم المعلومات الجغرافية تتم علي مستوي محدد من حيث تخزين و تحليل البيانات و استخدام النتائج، بمعني أن جهة أو مؤسسة أو شركة معينة هي التي تقوم بإنشاء و تطبيق و استخدام النظام. إلا أن هذه النظرة قد تغيرت مع منتصف التسعينات من القرن العشرين الميلادي لتظهر وسائل أو نماذج جديدة من نظم المعلومات الجغرافية تعتمد في فكرتها الأساسية علي مشاركة عدد كبير من المستخدمين - من خلال شبكة الانترنت - في خطوات إنشاء النظام و الاستفادة منه. ومنذ ذلك الوقت ظهر مصطلح جديد وهو **نظم المعلومات الجغرافية بمشاركة الجمهور Public Participation GIS (أو اختصارا PPGIS)**. وتهدف هذه النظم الي إشراك الجمهور (المستفيدون) في عملية جمع وتحليل البيانات والاستفادة من مميزات و مخرجات نظم المعلومات الجغرافية. ففي مثل هذه التطبيقات يتم تطوير خرائط رقمية وأدوات متعددة لعرض بيانات يستفيد منها جمهور المشاركين بحيث يزداد لديهم الوعي بالواقع المكاني والبيئي سواء علي مستوي عالمي أو علي مستوي محلي. أيضا تهدف هذه النظم الي زيادة فعالية جمع وإدارة البيانات المكانية من خلال إشراك الجمهور في هذه العملية، فيمكنك تخيل أن هناك عدد كبير من المستخدمين سيقومون بجمع البيانات المكانية المطلوبة لإنشاء النظام بصورة تطوعية وليس بمقابل مادي. كما تهدف PPGIS الي

قيام الجهات الحكومية بالتعرف علي آراء الجمهور في قضايا مجتمعية محلية تهمهم في المقام الأول وبذلك يتم نقل مقترحاتهم و متطلباتهم الي متخذي القرار.

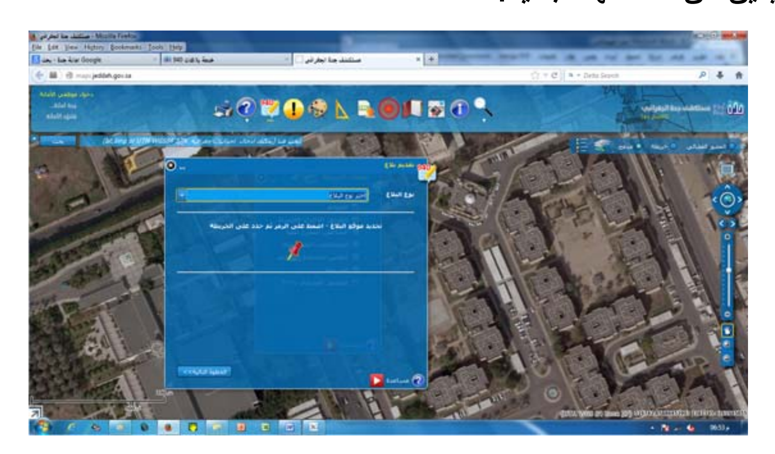
من أمثلة نظم المعلومات الجغرافية بمشاركة الجمهور مشروع خريطة الشوارع العالمية open Street Maps (في الرابط http://www.openstreetmap.org/) الذي بدأ في عام ٢٠٠٤م (١٤٢٤ هـ) علي يد Steve Coast بهدف إنشاء خريطة رقمية للشوارع والطرق علي مستوي العالم كله. تخيل أنه تم ترقيم جميع الشوارع في كل مدن العالم من خلال المرئيات الفضائية، لكن هذه الخريطة العالمية لا يوجد بها معلومات غير مكانية attribute data مثل أسماء الشوارع. هل تستطيع جهة أو مؤسسة أو شركة معينة أن تقوم بكل هذا العمل لإتمام نظام معلومات جغرافية لشوارع العالم كله؟. الآن تخيل أن هذا النظام متاح علي شيكه الانترنت بحيث يستطيع أي مستخدم أن يستعرض خريطة الشوارع في المدينة أو الحي الذي يقيم به، ويستطيع أيضا أن يدخل بيانات غير مكانية جديدة علي النظام. الآن أصبح هناك ملايين من المستخدمين - علي مستوي العالم - الذين سيبدءون في الاشتراك في عملية جمع البيانات و إدخالها للنظام. أما عن مميزات أو تطبيقات PPGIS للجمهور فتخيل الآن - علي سبيل المثال - أنك ستقوم برحلة حج أو عمرة لمدينة مكة المكرمة وتريد أن تحصل علي خريطة (رقمية أو ورقية) لطرق و شوارع مكة المكرمة، فكل ما عليك إلا الدخول لموقع المشروع علي الانترنت وتكبير الخريطة الرقمية التفاعلية لتظهر المنطقة المطلوبة (منطقة المسجد الحرام في مكة المكرمة) وتطبع أو تحفظ هذه الخريطة المجانية.



شكل (٩-٦) نموذج لمشروع خريطة الشوارع العالمية (لمنطقة الحرم المكي الشريف)

(http://www.openstreetmap.org/?mlat=21.42667&mlon=39.82611&zoom=12#map=16/21.4227/39.8288)

لنأخذ مثالا آخرا انظم المعلومات الجغرافية بمشاركة الجمهور ولكن علي مستوي محلي. تقدم أمانة مدينة جدة بالمملكة العربية السعودية ثلاثة بدائل لسكان المدينة لكي يتقدموا بأية شكوى عن الخدمات البلدية، فإما أن يتصلوا هاتفيا بالأمانة علي رقم ٩٤٠ أو يرسلوا الشكوى عن طريق الفاكس أو يقدموا الشكوى لحظيا من خلال موقع يسمي مستكشف جدة الجغرافي (http://maps.jeddah.gov.sa/). يقدم هذا الموقع أسلوبين لعرض البيانات المكانية إما علي مرئية فضائية أو علي خريطة رقمية أو كلاهما معا، كما يقدم عدة أدوات تفاعلية للتكبير و التصغير و الحركة داخل الموقع. كما يحتوي الموقع علي أيقونة بحيث يقوم المواطن - عند الضغط عليها - أولا بتحديد نوعية الشكوى أو البلاغ، ثم يقوم بتحديد الموقع المكاني (علي الخريطة) لشكواه، ثم يقوم بكتابة نص الشكوى المطلوب إرسالها للأمانة. وبهذا الأسلوب التفاعلي لتقنية PPGIS تولدت وسيلة تقنية جديدة تربط الأمانة - كجهة حكومية - مع جمهور المستفيدين من خدماتها البلدية.

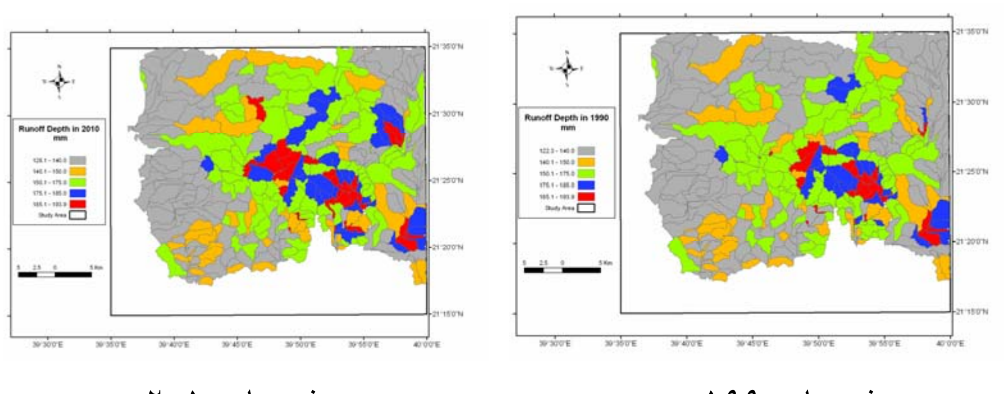


شكل (٩-٧) نموذج لنظم المعلومات الجغرافية بمشاركة الجمهور في مدينة جدة السعودية

٩-٥ جديد تطبيقات نظم المعلومات المكانية

في معظم تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية يتم التعامل مع إحداثيات المعالم المكانية من خلال الأبعاد الثلاثية Three-Dimensional or **3D GIS** (مثلا: خط الطول و دائرة العرض و الارتفاع أو X,Y,Z). لكن هناك بعض التطبيقات التي تحتاج لإضافة بعد رابع للظاهرات أو المعالم وهو الزمن، ومن ثم تكون هذه النظم رباعية الأبعاد Four-Dimensional or **4D GIS**. فبعض الظاهرات لها طبيعة ديناميكية، أي أن حدودها و معالمها و قيمها أيضا تتغير من فترة أو لحظة زمنية لأخرى. فعلي سبيل المثال فأن قيمة ارتفاع الجريان السطحي عند حدوث فيضان تعد قيمة تتغير من زمن الي آخر، وعند استخدام نظم المعلومات الجغرافية لتقدير ومتابعة الفيضان يجب التعامل مع الزمن باعتباره البعد الرابع

للإحداثيات في مثل هذا النظام الديناميكي. وبتطوير نماذج للظاهرة في فترات زمنية مختلفة يمكن التنبؤ المستقبلي لها، مثل عملية التنبؤ بالنمو العمراني المستقبلي في منطقة جغرافية. وهذا أحد أهم مميزات و تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية رباعية الأبعاد 4D GIS.

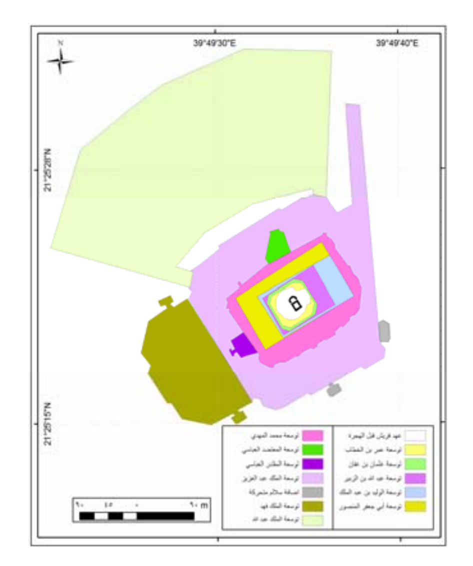


في عام ١٩٩٠م في عام ٢٠١٠م

ارتفاع الجريان السطحي للفيضان في مدينة مكة المكرمة

شكل (٩-٨) نموذج لنظم المعلومات الجغرافية رباعية الأبعاد

في السنوات الماضية ظهر تطبيق جديد لنظم المعلومات الجغرافية رباعية الأبعاد يأخذ في الاعتبار الزمن السابق (وليس المستقبلي) باعتباره البعد الرابع، وهو ما يعرف باسم **نظم المعلومات الجغرافية التاريخية Historical GIS (أو اختصارا HGIS)**. ويعد هذا النوع الجديد من تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية هو الجسر الذي يربط علم التاريخ بعلم الجغرافيا بصورة تقنية رائدة. تهدف نظم المعلومات الجغرافية التاريخية الي توثيق المصادر التاريخية (خرائط و بيانات غير مكانية) بصورة رقمية تسمح بتحليل الواقع الجغرافي في حقبة زمنية سابقة مع دراسة التغيرات التي حدثت في منطقة معينة عبر الزمن. فعلي سبيل المثال يقدم الشكل التالي التطور التاريخي لمساحة و حدود المسجد الحرام بمكة المكرمة عبر القرون الأربعة عشرة الماضية. وبتحليل هذه الخريطة التاريخية يمكن استنتاج أن مساحة المسجد الحرام قبل بدء الإسلام لم تتجاوز الألفين متر مربع، وقام أمير المؤمنين عمر بن الخطاب في عام ١٧ هـ (٦٣٧ م) بأول توسعة للمسجد لتزداد مساحته الي قرابة الخمسة آلاف متر مربع، ثم توالت التوسعات عبر القرون الأربعة عشر لتصل مساحة المسجد والساحات المحيطة به الي حوالي مليون و مائة و خمسين ألف متر مربع بعد انتهاء التوسعة الحالية المعروفة باسم مشروع توسعة الملك عبد الله بن عبد العزيز.



شكل (٩-٩) تطور حدود و مساحة المسجد الحرام في ١٤٠٠ عام

(مثال لنظم المعلومات الجغرافية التاريخية)

وُيعد مركز التحليل الجغرافي بجامعة هارفارد الأمريكية من رواد تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية التاريخية HGIS على مستوي العالم (http://www.gis.harvard.edu/icb/icb.do). وتوجد عدة تطبيقات لتطوير نظم معلومات جغرافية تاريخية مثل:

نظام المعلومات الجغرافية التاريخية لأمريكا في:

https://www.nhgis.org/

نظام المعلومات الجغرافية للمواقع التاريخية في كندا في:

http://www.pc.gc.ca/progs/lhn-nhs/intro_e.asp

نظام المعلومات الجغرافية التاريخية لبريطانيا في:

http://www.port.ac.uk/research/gbhgis

نظام المعلومات الجغرافية التاريخية للصين في:

http://www.fas.harvard.edu/~chgis/

ومن أهم تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية التاريخية تطوير أطالس تاريخية رقمية تحدد المواقع الجغرافية (الحالية) للمعالم المكانية التي كانت موجودة في الماضي. فعلي سبيل المثال فأن المعالم المكانية لمدينة مكة المكرمة خاصة في صدر الإسلام أصبح معظمها غير موجود في الوقت الحالي، لكن بمعرفة مواقع (إحداثيات) تلك المعالم من مصادر المعلومات

التاريخية يمكن توقيعها رقميا في نظام معلومات جغرافي. ومن ثم يمكن تطوير أطلس خرائط يضم هذا المعالم ومواقعها (بالإضافة لنبذة تاريخية عنها)، وتكون النتيجة النهائية تقديم إطار تقني جديد يعبر عن الجغرافيا التاريخية لمكة المكرمة في صورة مبسطة و دقيقة في نفس الوقت.

Name:	Al-Arkam House	دار الأرقم	الاسم:
Type:	A house	منزل	النوع:
Geographic Location:	21° 25' 20" North 39° 49' 40" East	٢٠" ٢٥' ٥٢١شمالا ٤٠" ٤٩' ٥٣٩ شرقا	الموقع الجغرافي:
Direction from Holly Kaaba:	East	شرق.	الاتجاه من الكعبة المشرفة:
Distance from Holly Kaaba: (Euclidian Distance)	180 Meters	١٨٠ متر.	البعد عن الكعبة المشرفة: (المسافة الهوائية)
Description:	It was located on the Safa mountain. Currently, it is within the boundaries of the holly mosque area.	كانت دار الأرقم تقع علي جبل الصفا، وقد دخلت في توسعة المسجد الحرام.	الوصف:
Historical Remarks:	Al-Arkam was one of the pioneers who follow Islam. In his house, prophet Mohamed, peace upon him, used to meet Muslims to teach them Islam and Qur'an. Hence, this house is considered as the first Islamic school.	الأرقم بن أبي الأرقم من أوائل الرجال الذين دخلوا الإسلام. وفي داره كان النبي صلى الله عليه و سلم يجتمع مع الصحابة سرا بعيدا عن أعين المشركين ليعلمهم الإسلام و القران، وبذلك كانت هذه الدار أول مدرسة في الإسلام.	نبذة تاريخية:

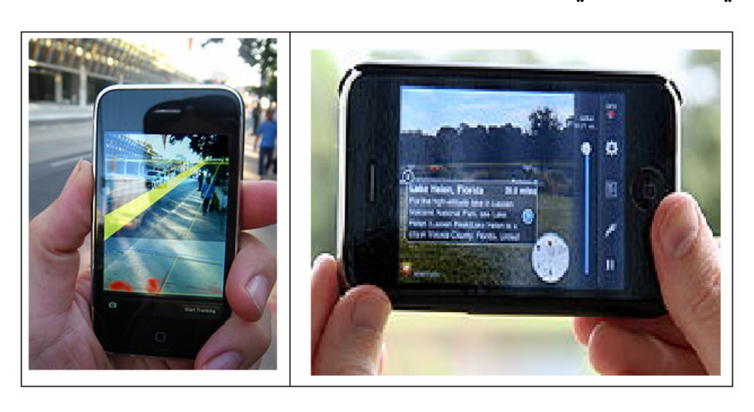
شكل (٩-١٠) نموذج لأطلس جغرافي رقمي تاريخي لمعالم مدينة مكة المكرمة

(مثال لنظم المعلومات الجغرافية التاريخية)

في منتصف التسعينات من القرن العشرين الميلادي ظهر مصطلح **الواقع المعزز Augmented Reality (أو اختصارا RA)** ليدل علي تقنية تهدف لتعزيز الواقع الحقيقي بمعلومات افتراضية، أي الدمج بين ما هو حقيقي و ما هو افتراضي أو تخيلي في إطار واحد. وربما كان مجال ألعاب الكمبيوتر من أولي استخدامات تقنية الواقع المعزز، إلا أن تطبيقات هذه التقنية الحديثة قد انتشرت في عدة مجالات أخري. وتجدر الإشارة لوجود فرق أساسي بين هذه التقنية و تقنية الواقع الافتراضي Virtual Reality، حيث أن الواقع الافتراضي لا يتعامل مع الوضع الراهن أو الواقع الحقيقي إنما هو افتراضي في الأساس. وكمثال فهناك برامج أو مواقع انترنت لتقنية الواقع الافتراضي تقدم خطوات و مناسك أداء الحج حيث يتم عرض مجسم تخيلي للمسجد الحرام - مثلا - وكيف يقوم الحاج بأداء الطواف حول الكعبة ثم ينتقل لأداء السعي بين

الصفا و المروة ....الخ، وكل ذلك باستخدام تقنيات حاسوبية للرسوم ثلاثية الأبعاد 3D Graphics ليشعر المستخدم كما لو أنه - حقيقية - داخل المسجد الحرام.

تعتمد تقنية الواقع المعزز RA علي وجود وسيلة اتصال بصرية (شاشة كمبيوتر محمول أو شاشة جوال مثلا) بين المستخدم والمعلومات الافتراضية التي يقدمها له برنامج كمبيوتر متخصص. أما معلومات الواقع الحقيقي فسيتم عرضها من خلال كاميرا متصلة بالجهاز تعرض الصورة اللحظية للمكان الحقيقي الحالي. أما عن تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في تقنية الواقع المعزز فتتكون من وجود وسيلة ربط معينة بين الواقع الحقيقي و الواقع الافتراضي المطلوب عرضه، وغالبا تكون هذه الوسيلة هي إحداثيات الموقع التي يمكن الحصول عليها بتقنية الجي بي أس. فلنتخيل الآن أن المستخدم يسير في موقع محدد داخل مدينة معينة، ويقدم جهاز الجي بي أس (المدمج في جهاز الواقع المعزز) إحداثيات تحدد الموقع الحقيقي للمستخدم. وعند المرور بموقع معلم معين (سواء كان المعلم حقيقيا موجود في الوقت الراهن أو معلما افتراضيا كان موجود في الماضي) يبدأ برنامج الواقع المعزز في عرض معلومات (مكانية و غير مكانية) علي شاشة الجهاز عن هذا المعلم. فمثلا لو المستخدم يسير داخل مدينة مكة المكرمة وعند مروره بموقع المكان الذي كان في الماضي يضم أثرا تاريخيا معينا (لم يعد موجودا الآن) فيبدأ جهاز الواقع المعزز في عرض معلومات عن هذا الموقع الأثري و صور قديمة له وخريطة تاريخية لهذا المكان في الماضي ....الخ. وبهذا يكون هناك دمج بين الواقع الحقيقي لهذا المكان وواقعه التاريخي في الماضي في إطار تقنية الواقع المعزز RA. ومن ثم يمكننا اعتبار تقنية الواقع المعزز كأحد مجالات نظم المعلومات الجغرافية التاريخية ولكن في إطار لحظي real-time لعرض المعلومات.



شكل (٩-١١) نموذج لتطبيقات تقنية الواقع المعزز

المراجع

المراجع العربية

الأزهري ، محمد إيهاب صلاح (٢٠٠٩) تطبيقات عملية في نظم المعلومات الجغرافية – دار المعرفة للنشر، القاهرة ، مصر.

إبراهيم، نقولا (١٩٨٢) مساقط الخرائط، منشأة دار المعارف، الإسكندرية.

الحسيني ، صفوت (٢٠٠٢) الجيوديسيا ، القاهرة، مصر.

مصطفي، أحمد أحمد (١٤١٢هـ) نظم الإحداثيات في الخرائط الطبوغرافية في المملكة العربية السعودية ،مجلة كلية الملك خالد العسكرية، العدد ٣٧، ص ٧٤-٧٩.

الشافعي، شريف فتحي (٢٠٠٤) المساحة التصويرية، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، القاهرة.

الشريعي ، أحمد البدوي محمد ، الخرائط الجغرافية: تصميم وقراءه وتفسير(٢٠٠٥) دار الفكر العربي، القاهرة، مصر.

شكري ، علي سالم و عبد الرحيم ، محمود حسني و مصطفي ، محمد رشاد الدين (١٩٨٩) المساحة التصويرية و القياس الالكتروني و نظرية الأخطاء ، منشأه المعارف ، الإسكندرية.

شلبي، علاء عزت و حسان، محمود عادل (٢٠٠٤) تطبيقات الحاسب الآلي في التوزيع و التحليل المكاني، منشأة المعارف، الإسكندرية، مصر.

الشمري، صالح عبد المحسن (٢٠٠٤) دور الاستشعار عن بعد في تحديث الخرائط الطبوغرافية العسكرية، مجلة الحرس الوطني، العدد ٢٧١، الرياض.

الصقير ، عبد العزيز ، (١٤٢٧ هـ) الأقمار الصناعية ، مجلة العلوم و التقنية ، العدد ٨٠ ، ص ٥-٩.

صالح ، حسين عزيز ، (٢٠٠٨) نظام التعيين الاحداثي العالمي: الجي بي أس ، متاح في: http://iridia.ulb.ac.be/~hsaleh/

صيام ، يوسف (٢٠٠٢) المساحة: أنظمة الإحداثيات و قراءة الخرائط ، عمان ، الأردن.

صيام، يوسف مصطفي (٢٠٠٦) مبادئ في التقنيات المساحية الحديثة: المساحة التصويرية و الاستشعار عن بعد و نظم المعلومات الجغرافية، المصنع الحديث للطباعة، عمان.

زايد، مصطفي (٢٠٠٩م) الإحصاء و وصف البيانات ، القاهرة، مصر.

عبده ، وسام الدين محمد (٢٠١٢) إدارة نظم المعلومات الجغرافية باستخدام البرنامج ArcGIS Desktop، مكتبة المتنبي ، الدمام، المملكة العربية السعودية.

عبده ، وسام الدين محمد (٢٠٠٨) الاستشعار عن بعد، مجموعة محاضرات: http://www.arabgeographers.net/vb/showthread.php?t=4560

عزيز ، محمد الخزامي (٢٠٠٤) نظم المعلومات الجغرافية: أساسيات و تطبيقات للجغرافيين – منشاة المعارف – الإسكندرية – مصر.

العيسي ، سميح يوسف (٢٠٠٦) مبادئ عمل منظومة التوضع GPS ، شعاع للنشر والعلوم، حلب ، سوريا.

الغزالي ، محمد شوقي (١٩٩٧) الجيوديسيا الهندسية و نظام تحديد المواقع العالمي ، القاهرة، مصر.

الربيش ، محمد بن حجيلان (١٤٢٠ هـ) النظام الكوني لتحديد المواقع ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

محمد، أحمد غلاب (٢٠٠٧) الاستشعار عن بعد، مجموعة محاضرات:

http://www.megwrm.aun.edu.eg/sub/workshop2/remote1.pdf

مكتب الجي بي أس الرسمي الأمريكي (٢٠٠٨) نظام التموضع العالمي ، متاح في:
http://www.gps.gov/systems/gps/arabic.html

المكتبة الرقمية المساحية المجانية (٢٠١٣) مجموعة ملفات في:
http://www.4shared.com/u/vJBH8xk_/__online.html

موسي، أشرف القطب (٢٠٠٨) دليل منظومة الأمانة للمحطات الدائمة للنظام العالمي لتحديد المواقع بأمانة جده، تقرير أمانة محافظة جدة ، المملكة العربية السعودية ، متاح في: http://www.jeddah.gov.sa/masaha/directories/files/dir2.pdf .

موسي، أشرف القطب (٢٠٠٩) دليل نظم الإحداثيات و علاقتها بنظام إحداثيات خرائط أمانة جدة ، تقرير أمانة محافظة جدة ، المملكة العربية السعودية ، متاح في: http://www.jeddah.gov.sa/masaha/directories/files/dir1.pdf

معراج، نواب بن مرزا (١٤٢٦ هـ) أطلس خرائط مكة المكرمة، هيئة المساحة الجيولوجية السعودية، جدة.

معوض، معوض بدوي (٢٠٠٩) مبادئ الاستشعار عن بعد و تدريباته العملية ، المنار للطباعة و النشر ، القاهرة.

عبد الوهاب، سامح (٢٠١١) الصور الجوية و الاستشعار عن بعد، مجموعة محاضرات:
http://www.4geography.com/vb/showthread.php?t=9151

المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني (١٤٢٥ هـ) عدة مقررات دراسية للكليات التقنية، الرياض.

الهيتي، عماد عبد الرحمن و الوحيشي، عبد السلام احمد (٢٠٠٤) الاستشعار عن بعد: المبادئ و التطبيقات، منشورات جامعة ناصر الأممية، بنغازي.

المراجع الأجنبية

ACE (US Army Corps of Engineers) (2002) Photogrammetric mapping, Engineering Manual No. 1110-1-1000, Washington D.C, USA http://www.usace.army.mil/publications/.

Albert, D., Gesler, W., and Levergood, B. (2000) Spatial analysis, GIS, and remote sensing applications in the health sciences, Taylor & Francis, London, UK.

Al-Ghamdi, K. (2012) Modeling spatial dynamics changes with cellular automata, Presented in the 7th National GIS symposium, Al-Khobar, Saudi Arabia, April 29 – May 1.

Al-Ghamdi, K., Mirza, M., Elzahrany, R., and Dawod, G. (2012) GIS evaluation of urban growth and flood hazards: A case study of Makkah city, Saudi Arabia, , FIG Working Week 2012, Rome, Italy, May 6-10.

Al-Rabbany, A. (2009) GNSS Positioning - Some recent developments and trends, Map Middle East Conference, Dubai, UAE, April 26-28.

http://www.gisdevelopment.net/proceedings/mapmiddleeast/2009/mme09_AhmedELRabbany.pps

Al-Rabbany, A. (2002) Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

Al shaikh, A. (2013) A combined Use of Remote Sensing and GIS to Detect Environmental Degradation in the Jeddah coastal zone, Saudi Arabia, Life Science Journal, Volume 10, No. 2, pp. 472-478 http://www.lifesciencesite.com/lsj/life1002/070_17628life1002_472_478.pdf

Anderson, J. and Mikhail, E. (1981) Surveying: Theory and practice, 7th edition, McGraw-Hill, Boston, USA.

ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) (2013) http://asterweb.jpl.nasa.gov/index.asp,

Borio, D. (2008) A statistical theory for GNSS signal acquisition, PhD Dissertation, Politecbco Di Torino, 291 pp.

Dana, P. (2000) Tutorial on Coordinate Systems http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/coordsys/coordsys.html

Dana, P. (2000) Tutorial on Map Projection http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/mapproj/mapproj_f.html

Davis, H. (2013) Cartographic images http://www.henry-davis.com/MAPS/

Dawod, G., (2013) Suitability analysis for tourist infrastructures utilizing multi-criteria GIS: A case study in Al-Hada city, Saudi Arabia, International Journal of Geomatics and Geosciences, V. 4, No. 2.

Dawod, G., Mirza, M., Al-Ghamdi, K., and Elzahrany, R. (2013) Projected impacts of land use and road network changes on increasing flood hazards using a 4D GIS: A case study in Makkah metropolitan area, Saudi Arabia, Arabian Journal of Geosciences, DOI 10.1007/s12517-013-0876-7, Published online January 14. http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12517-013-0876-7

Dawod, G., Mirza, M., and Al-Ghamdi, K. (2011) GIS-based spatial mapping of flash flood hazards in Makkah city, Saudi Arabia, Journal of Geographic Information System, V. 3, No. 3, pp. 217-223. http://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?paperID=6545

Dawod, G., Mohamed, W., 2009, Data management of different height systems within GPS/GIS integrated spatial technology, Accepted for presentation in the Middle East Spatial Technology Conference (MEST2009), December 7-9, Kingdom of Bahrain.

Elzahrany, R. and Mirza, M. (2011) Using augmented reality to introduce historical sites in Makkah "Mecca", Saudi Arabia: Conceptual framework, Presented in the UGI2011 conference, Santiago, Chili.

European Space Agency (ESA) (2009) Galileo project website http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/intro/index_en.htm

Fotheringham, S. and Rogerson, P. (2005) Spatial analysis and GIS, Taylor & Francis, London, UK.

Freeden, W., Nashed, M., and Sonar, T. (Ed.) (2010) Handbook of geomathematics, Volume 2, Springer-Verlag, Germany, 1329 pp.

Fugro Chance Inc. (2007) GNSS status and plans, website: http://www.fugro.com

Ghilani, C., and Wolf, P. (2006) Adjustment computations: Spatial data analysis, Forth edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA.

Gomarasca, M., (2009) Basics of geomatics, Springer-Verlag, Germany, 656 pp.

InsideGNSS Magazine (2006) Compass and China's GNSS makes four http://www.insidegnss.com/node/115

InsideGNSS Magazine (2008) China adds details to Compass (Beidou II) signal plans http://www.insidegnss.com/node/803

International GNSS Service (2009a) IGS Products http://igscb.jpl.nasa.gov/components/compindex.html.

International GNSS Service (2009b) IGS orbits http://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods.html.

ISCGM (International Steering Committee for Global Mapping) (2009) Global map specifications version 2, http://www.iscgm.org/cgi-bin/fswiki/wiki.cgi?action=ATTACH&page=Documentation&file=Global+Mapping+Specifications+Version+2.pdf

Iliffe, J. (2005) Datums and map projection: For remote sensing, GIS, and surveying, CRC Press, Washington, DC, USA.

Leandro, R. (2009) Precise point positioning with GPS: A new approach for positioning atmospheric studies and signal analysis, PhD Dissertation, New Brunswick University's technical report No. 257, April, 266 pp.

Lieck, A. (1995) GPS Satellite surveying, John Wiley & Sons Inc., New York, USA.

Mendizabal, J., Berenguer, R., and Melendez, J. (2009) GPS & Galileo: Dual RF front-end receiver and design, fabrication, and test, McGraw Hill Co., New York, USA.

Mikhail, E. (1976) Observations and least squares, University press of America, New York, USA.

Michigan University (2008) Land Use Standard Symbols http://lu.msue.msu.edu/pamphlet/Pln/AcrobatPamphletMapColors.PDF

Mirza, M. and Dawod, G. (2013) Historical GIS: Developing an atlas for major historical locations within Makkah city, Saudi Arabia, Under development.

Mugnier, C. (2008a) Grids and Datums: Arab Republic of Egypt, ASPRS Newsletter, November, pp. 1307-1309, http://www.asprs.org/resources/Grids/11-2008-egypt.pdf .

Mugnier, C. (2008b) Grids and Datums: Kingdom of Saudi Arabia, ASPRS Newsletter, August, pp. 949-951 http://www.asprs.org/resources/Grids/08-2008-saudi.pdf .

Navarro-Reyes, D. (2007) Galileo program status and ongoing GIOVE experimentation, Presented at the EGU general assembly, Vienna, Austria, April 16.

NRC (Natural Resources Canada) Fundamentals of remote sensing, 258 pp. http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca.earth-sciences/files/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf

Paez, A., Gallo, J., Buliung, R., and Dall'erba, S. (2009) Progress in spatial analysis, Springer, Berlin, Germany.

Peterson, G. (2009) GIS Cartography: A guide to effective map design, Taylor & Francis Group, USA.

USGS (United States' Geological Survey) Digital map standards http://nationalmap.gov/ustopo/digital_map_beta_v0.0.25.pdf

US National Imagery and Mapping Agency (NIMA) (2000) Department of Defense World Geodetic System 1984: Its definition and relationships with local geodetic system, Technical Report TR8350.2, Third Edition, Washington, DC, USA.

US Army Corps of Engineering (2003) NAVSTAR Global Positioning System Surveying, Technical Manual No. EM1110-1-1003, Washington, D.C., USA.

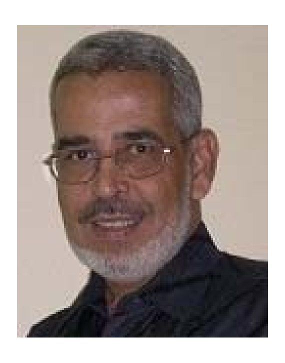
Saad, A., and Dawod, G. (2002) A Precise Integrated GPS/Gravity Geoid Model for Egypt, Civil Engineering Research Magazine (CERM), Al-Azhar University, V.24, No. 1, Jun, pp.391-405.

Sapic, T. (2013) Photogrammetry and remote sensing, Course 2270, Faculty of natural resources management, Lakehead university, Canada http://flash.lakeheadu.ca/~forspatial/.

Vanicek, P. (2001) An online tutorial in Geodesy http://gge.unb.ca/Research/GeodesyGroup/tutorial/tutorial.htm .

Wolter, P. (2012) Natural resource photogrammetry and geographic information systems, Course NREM 345, College of natural resources ecology management, Iowa state university, USA http://www.nrem.iastate.edu/class/nrem345.htm.

نبذة عن المؤلف



- الدكتور جمعة محمد داود محمود من مواليد السويس بجمهورية مصر العربية في عام ١٩٦٢م (الموافق ١٣٨٣هـ).
- حصل علي درجة البكالوريوس في الهندسة المساحية في عام ١٩٨٥م من كلية الهندسة بشبرا – جامعة بنها بمصر ، ودرجة الماجستير من قسم العلوم الجيوديسية والمساحة من جامعة ولاية أوهايو بالولايات المتحدة الأمريكية في عام ١٩٩١م، ودرجة الدكتوراه في عام ١٩٩٨م من كلية الهندسة بشبرا، جامعة بنها بمصر.
- حصل د. جمعة داود علي درجة أستاذ مشارك في عام ٢٠٠٤م وكذلك درجة الأستاذية في الهندسة المساحية في عام ٢٠٠٩م.
- يعمل د. جمعة داود منذ عام ١٩٨٧م بمعهد بحوث المساحة بوزارة الموارد المائية والري بمصر، ويعمل أيضا منذ عام ٢٠٠٥م بجامعة أم القرى بمكة المكرمة بالمملكة العربية السعودية.
- فاز د. جمعة داود بجائزة أفضل بحث في المساحة في مصر في أعوام ٢٠٠٥، ٢٠٠٦، ٢٠٠٧، ٢٠٠٩م كما تم اختياره في الموسوعة الدولية للعلوم والهندسة Who is Who للفترة ٢٠١١-٢٠١٢م.
- نشر د. جمعة داود حتى الآن خمسون بحثا في الهندسة المساحية منهم عشرون ورقة علمية في مجلات عالمية و مؤتمرات دولية في كل من الولايات المتحدة الأمريكية و انجلترا و ايطاليا و استراليا بالإضافة للنشر في مجلات و مؤتمرات في كلا من المملكة العربية السعودية و مملكة البحرين والمملكة المغربية و جمهورية مصر العربية، كما نشر ٨ كتب باللغة العربية في مجالات و تقنيات الجيوماتكس.
- د. جمعة داود متزوج من د. هدي فيصل الباحثة بمعهد بحوث المساحة وله ثلاثة أبناء مصطفي و محمد و سلمي.
- حج د. جمعة داود بيت الله الحرام أربعة مرات وأعتمر عدة مرات.